

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-303114

(43) 公開日 平成10年(1998)11月13日

(51) Int.Cl.⁸
H 0 1 L 21/027
G 0 3 F 7/20

識別記号

5 2 1

F I

H 0 1 L 21/30 5 1 5 D
G 0 3 F 7/20 5 2 1
H 0 1 L 21/30 5 1 8

審査請求 未請求 請求項の数12 F D (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願平9-121757

(22) 出願日 平成9年(1997)4月23日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 牛田 一雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 諏訪 恭一

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

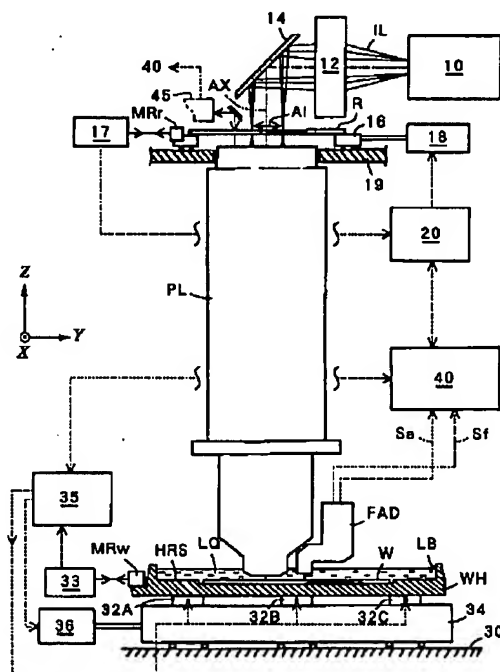
(74) 代理人 弁理士 猪熊 克彦

(54) 【発明の名称】 液浸型露光装置

(57) 【要約】

【課題】 結像性能の劣化を招くことのない液浸型露光装置を提供する。

【解決手段】 レチクルR上に描画されたパターンPaをウエハW上に焼付転写する投影光学系PLを有し、該投影光学系のウエハに最も近接したレンズ面PeとウエハWとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光ILを透過する液体LQで満たした液浸型露光装置において、ワーキングディスタンスの長さをLとし、露光光ILの波長をλとし、液体LQの屈折率の温度係数をN(1/°C)としたとき、 $L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$ となるように形成したことを特徴とし、また、液体LQとして、純水の表面張力を減少させ又は純水の界面活性度を増大させる添加剤を純水に添加したものをを用いたことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】レチクル上に描画されたパターンをウエハ上に焼付転写する投影光学系を有し、該投影光学系のウエハに最も近接したレンズ面と前記ウエハとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光を透過する液体で満たした液浸型露光装置において、前記ワーキングディスタンスの長さ L とし、前記露光光の波長を λ とし、前記液体の屈折率の温度係数を N ($1/^{\circ}\text{C}$)としたとき、

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$$

となるように形成したことを特徴とする液浸型露光装置。

【請求項2】レチクル上に描画されたパターンをウエハ上に焼付転写する投影光学系を有し、該投影光学系のウエハに最も近接したレンズ面と前記ウエハとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光を透過する液体で満たした液浸型露光装置において、前記液体として、純水の表面張力を減少させ又は純水の界面活性度を増大させる添加剤を前記純水に添加したものをを用いたことを特徴とする液浸型露光装置。

【請求項3】前記ワーキングディスタンスの長さ L が2 mm以下である、請求項1又は2記載の液浸型露光装置。

【請求項4】前記レチクルとウエハを前記投影光学系の倍率に対応した速度比にて同期して等速に走査可能に配置した、請求項1、2又は3記載の液浸型露光装置。

【請求項5】前記露光光として紫外域の光を用いた、請求項1、2、3又は4記載の液浸型露光装置。

【請求項6】前記投影光学系の最もウエハ側の先端光学素子のウエハ側の光学面を平面状に形成し、前記先端光学素子を保持する鏡筒の下端面を前記光学面と同一平面をなすように形成し、前記鏡筒の下端外周面に面取りを施した、請求項1、2、3、4又は5記載の液浸型露光装置。

【請求項7】前記先端光学素子が平行平板である、請求項6記載の液浸型露光装置。

【請求項8】前記ウエハをホルダテーブルによって保持し、前記液体によってワーキングディスタンスを満たすことができるように前記ホルダテーブルの上面外周に壁部を立設し、前記ホルダテーブル内に前記液体を供給し且つ回収できるように液体供給ユニットを設け、前記ホルダテーブルと液体供給ユニットとの双方に温度調整器を設けた、請求項1～7のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項9】前記ウエハをウエハチャックによって保持し、前記液体によってワーキングディスタンスを満たすことができるように前記ウエハチャックの上面外周に壁部を立設し、前記ウエハチャックを貫通して少なくとも3本のピンを設け、前記ウエハを前記ウエハチャックの上方に持ち上げることができるように、前記ピンに昇降

駆動装置を取り付けた、請求項1～7のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項10】前記ウエハをウエハチャックによって保持し、前記液体によってワーキングディスタンスを満たすことができるように前記ウエハチャックの上面外周に壁部を立設し、前記ウエハチャックを貫通して少なくとも3本のピンを設け、ウエハチャックの前記壁部の上端を前記投影光学系の下端よりも低くすることができるように、前記ウエハチャックに昇降駆動装置を取り付けた、請求項1～7のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項11】前記壁部の一部分に開閉自在な液密ドア部を設けることにより、投影光学系の下端部分との干渉を回避した、請求項1～10のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【請求項12】前記投影光学系の側面に干渉計用のミラーを取り付け、該ミラーに入射して反射する光束を前記液体から発する蒸気より離隔するように防護手段を設けた、請求項1～11のいずれか1項記載の液浸型露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レチクル上に描画されたパターンを投影光学系によってウエハに焼付ける露光装置に関し、特に液浸型の露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】光学系の最終レンズ面と像面との間の間隔をワーキングディスタンスというが、従来の露光装置の投影光学系のワーキングディスタンスは、空気で満たされていた。このワーキングディスタンスは、オートフォーカス光学系を介在させるなどの都合により、10 mm以上取るのが普通であった。他方、ウエハに転写するパターンについては、その微細化がますます望まれており、そのためには露光波長の短波長化を図るか、あるいは開口数の増大を図る必要がある。しかるに短波長の光を透過するガラス材料の種類には限度があるから、ワーキングディスタンスを液体で満たして開口数の増大を図ることにより、露光パターンの微細化を図る液浸型の露光装置が提案されている。

【0003】液浸型の露光装置では、ワーキングディスタンスに介在させた液体の温度分布によって、屈折率に分布が生じるおそれがある。そこで液体の温度変化に起因する結像性能の劣化への対策として、次のような技術が提案されている。すなわち、(あ)液体の温度安定機構によって温度の安定化を図るものとして、米国特許4,346,164号の図3に開示された技術が提案されており、加振攪拌機構によって温度の均一化を図るものとして、特開平6-124873号公報に開示された技術が提案されている。また、(い)液体の温度モニター機構によって温度調節にフィードバックするものとし

て、同じく特開平6-124873号公報に温度、又は屈折率を計測することが提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし(あ)においては、温度をどの程度安定させれば実用上問題ないかと言った議論は成されておらず、実際には下記に示すように、現実的とは言いがたい精度での温度コントロールが必要になる。また、(い)についても、結像性能に最も影響するのが液体の温度不均一であることを考慮すると、有効な対策とは言い難い。このように液浸型露光装置に関する従来公知の技術においては、ワーキングディスタンスのような投影光学系の光学パラメーターそのものについての制約に言及した例はなく、液浸型の特殊事情が考慮されているとは言えない状況であった。したがって本発明は、ワーキングディスタンスを満たす液体の温度制御を容易にして、結像性能の劣化を招くことのない液浸型露光装置を提供することを課題とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するためになされたものであり、すなわち、レチクル上に描画されたパターンをウェハ上に焼付転写する投影光学系を有し、該投影光学系のウェハに最も近接したレンズ面とウェハとの間のワーキングディスタンスのうちの少なくとも一部分を、露光光を透過する液体で満たした液浸型露光装置において、ワーキングディスタンスの長さ L とし、露光光の波長を λ とし、液体の屈折率の温度係数を N ($1/^{\circ}\text{C}$)としたとき、

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$$

*

$$\begin{aligned} \text{空気: } \Delta F &= 10 \text{ mm} \times |-9 \times 10^{-7} / ^{\circ}\text{C}| \times 0.01^{\circ}\text{C} \\ &= 0.09 \text{ nm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{水: } \Delta F &= 10 \text{ mm} \times |-8 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}| \times 0.01^{\circ}\text{C} \\ &= 8.0 \text{ nm} \end{aligned}$$

【0009】しかるに一般に結像波面収差 ΔF は、露光波長 λ の $1/30$ 以下が望ましく、すなわち、

$$\Delta F \leq \lambda / 30 \quad \cdots (2)$$
が成立することが好ましい。例えば波長 193 nm のArFエキシマレーザを露光光として用いるときには、 $\Delta F < 6.4 \text{ nm}$ が望ましい。ワーキングディスタンスを満たす媒質が水の場合には、従来技術のようにワーキングディスタンス L が $L > 10 \text{ mm}$ では、媒質の温度分布による結像波面収差の発生量が大きすぎて、実用上問題を生ずることが分かる。

【0010】(1a)式と(2)式とから、

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|) \quad \cdots (3)$$

を得る。したがって(3)式を満たすことにより、実現可能な温度安定性(温度分布)のもとに、浸液中の温度分布によって生じる波面収差発生量が露光波長の $1/30$ 以下に抑えられた投影光学系を搭載した液浸型露光装置が得られる。以上のように本発明においては、温度分布を持った媒質中を露光光が通過することで発生する波

*となるように形成したことを特徴とする液浸型露光装置であり、また、前記液体として、純水の表面張力を減少させ又は純水の界面活性度を増大させる添加剤を純水に添加したものをを用いたことを特徴とする液浸型露光装置である。

【0006】以下に本発明の作用を説明する。投影光学系の先端のガラス面から結像面までの距離、すなわちワーキングディスタンスを L とし、ワーキングディスタンス L を満たす媒質の温度分布の幅を ΔT とし、この温度分布 ΔT に起因する結像波面の収差を ΔF とし、液体の屈折率の温度係数を N とすると、近似的に以下の式

(1)が成立する。

$$\Delta F = L \times |N| \times \Delta T \quad \cdots (1)$$

【0007】媒質の温度分布 ΔT については、その均一化を図るためにいかにコントロールしようとも、 $\Delta T = 0.01^{\circ}\text{C}$ 程度の温度分布が存在すると想定される。したがって、結像波面収差 ΔF は、少なくとも、

$$\Delta F = L \times |N| \times 0.01 \quad \cdots (1a)$$

だけは存在する。ここで N は、屈折率の温度係数を $1/^{\circ}\text{C}$ 単位で表した値である。

【0008】屈折率の温度係数 N の値は液体と気体で大きく異なり、例えば空気では $N = -9 \times 10^{-7} / ^{\circ}\text{C}$ であるのに対して、水の場合は $N = -8 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ であり、 100 倍近い差がある。他方、縮小投影露光装置の投影光学系のワーキングディスタンス L は、通常 $L > 10 \text{ mm}$ であるが、 $L = 10 \text{ mm}$ であるとしても、結像波面収差 ΔF は以下ようになる。

面収差量が、温度分布量と媒質中の光路長の積に依存することに着目し、光路長に上限を設けることにより、温度分布に対する要求を緩和している。これにより実現可能なレベルでの浸液の温度コントロールのもとで、液浸型露光装置を実用に供することができる。

【0011】

【発明の実施の形態】以下に本発明に好適ないくつかの実施例を説明する。

【0012】

【第1の実施例の説明】図1は、本発明の第1の実施例による投影露光装置の全体構成を示し、ここでは、物体側と像側の両側においてテレセントリックに構成された円形イメージフィールドを有する縮小投影レンズ系PLを介して、レチクルR上の回路パターンを半導体ウェハW上に投影しつつ、レチクルRとウェハWとを投影レンズ系PLに対して相対走査するレンズ・スキャン方式の投影露光装置を示す。図1において照明系10は、波長 193 nm のパルス光を放射するArFエキシマレーザ

光源（不図示）、その光源からのパルス光の断面形状を整形するビームエクスパンダ（不図示）、その整形されたパルス光を入射して2次光源像（複数の点光源の集まり）を生成するフライ・アイレンズ等のオブチカルインテグレータ（不図示）、その2次光源像からのパルス光を均一な照度分布のパルス照明光にする集光レンズ系（不図示）、そのパルス照明光の形状を走査露光時の走査方向（Y方向）と直交した方向（X方向）に長い矩形状に整形するレチクルブラインド（照明視野絞り、不図示）、及びそのレチクルブラインドの矩形状の開口から

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50

のパルス光11を図1中のコンデンサーレンズ系12、ミラー14と協働してレチクルR上にスリット状又は矩形状の照明領域A1として結像するためのリレー光学系（不図示）とを含んでいる。

【0013】レチクルRは、走査露光時には大きなストロークで1次元方向に等速移動可能なレチクルステージ16上に真空吸着（場合によっては静電吸着、機械締結）される。レチクルステージ16は、図1においては装置本体のコラム構造体19上を図中の左右（Y方向）にスキャン移動するようにガイドされ、図の紙面と垂直な方向（X方向）にも移動するようにガイドされる。そのレチクルステージ16のXY平面内での座標位置や微小回転量は、レチクルステージ16の一部に取り付けられた移動鏡（平面鏡やコーナーミラー）MRにレーザビームを投射して、その反射ビームを受光するレーザ干渉計システム17によって逐次計測される。そしてレチクルステージ制御器20は、干渉計システム17によって計測されるXY座標位置に基づいてレチクルステージ16を駆動するためのリニアモータやボイスコイル等のモータ18を制御し、レチクルステージ16のスキャン方向の移動と非スキャン方向の移動とを制御する。

【0014】さて、コンデンサーレンズ系12とミラー14から射出された矩形状のパルス照明光11がレチクルR上の回路パターン領域の一部を照射すると、その照明領域A1内に存在するパターンからの結像光束が1/4倍の縮小投影レンズ系PLを通して、ウエハWの表面に塗布された感応性のレジスト層に結像投影される。その投影レンズ系PLの光軸AXは、円形イメージフィールドの中心点を通り、照明系10とコンデンサーレンズ系12の各光軸とも同軸になるように配置されている。また投影レンズ系PLは、波長193nmの紫外線に対して高い透過率を有する石英と螢石の2種類の硝材で作られた複数枚のレンズ素子で構成され、螢石は主に正のパワーを持つレンズ素子に使われる。さらに投影レンズ系PLの複数枚のレンズ素子を固定する鏡筒の内部は、波長193nmのパルス照明光の酸素による吸収を避けるために窒素ガスに置換されている。このような窒素ガスによる置換は照明系10の内部からコンデンサーレンズ系12（又はミラー14）までの光路に対しても同様に行われる。

【0015】ところで、ウエハWはその裏面を吸着するホルダテーブルWH上に保持される。このホルダテーブルWHの外周部全体には一定の高さで壁部LBが設けられ、この壁部LBの内側には液体LQが所定の深さで満たされている。そしてウエハWは、ホルダテーブルWHの内底部の窪み部分に真空吸着される。またホルダテーブルWHの内底部の周辺には、ウエハWの外周を所定の幅で取り囲むような環状の補助プレート部HRSが設けられている。この補助プレート部HRSの表面の高さは、ホルダテーブルWH上に吸着された標準的なウエハWの表面の高さとほぼ一致するように定められている。

【0016】この補助プレート部HRSの主要な機能は、フォーカス・レベリングセンサーの検出点がウエハWの外形エッジの外側に位置するような場合の代替のフォーカス検出面として利用されることである。また補助プレート部HRSは、ウエハW上のショット領域とレチクルR上の回路パターンとを相対的に位置合わせするときに使われるアライメントセンサーのキャリブレーションや、ショット領域を走査露光するときに使われるフォーカス・レベリングセンサーのキャリブレーションにも兼用可能である。ただしアライメントセンサーやフォーカス・レベリングセンサーのキャリブレーションは、補助プレート部HRSと個別に設けられた専用の基準マーク板を使う方が望ましい。この場合、基準マーク板も液浸状態で投影レンズ系PLの投影像面とほぼ同一の高さになるようにホルダテーブルWH上に取り付けられ、アライメントセンサーは基準マーク板上に形成された各種の基準マークを液浸状態で検出することになる。なお、テーブル上の基準マーク板を使ってフォーカスセンサーのシステム・オフセットをキャリブレーションする方法の一例は、例えば米国特許4,650,983号に開示され、各種アライメントセンサーのキャリブレーション方法の一例は、例えば米国特許5,243,195号に開示されている。

【0017】ところで図1に示した通り、本実施例では投影レンズ系PLの先端部を液体LQ内に浸けるので、少なくともその先端部は防水加工されて鏡筒内に液体が染み込まないような構造となっている。さらに、投影レンズ系PLの先端のレンズ素子の下面（ウエハWとの対向面）は平面、又は曲率半径が極めて大きい凸面に加工され、これにより、走査露光時にレンズ素子の下面とウエハWの表面との間で生じる液体LQの流れをスムーズにできる。さらに本実施例では、後で詳細に説明するが、液浸状態における投影レンズ系PLの最良結像面（レチクル共役面）が、先端のレンズ素子の下面から約2~1mmの位置に形成されるように設計されている。従って、先端のレンズ素子の下面とウエハWの表面との間に形成される液体層の厚みも2~1mm程度になり、これによって液体LQの温度調整の制御精度が緩和されるとともに、その液体層内の温度分布ムラの発生も抑え

ることが可能となる。

【0018】さて、ホルダテーブルWHは、投影レンズ系PLの光軸AXに沿ったZ方向への並進移動（本実施例では粗移動と微動）と、光軸AXに垂直なXY平面に対する傾斜微動とが可能のように、XYステージ34上に取り付けられる。このXYステージ34はベース定盤30上をXY方向に2次元移動し、ホルダテーブルWHはXYステージ34上に3つのZ方向用のアクチュエータ32A、32B、32Cを介して取り付けられる。各アクチュエータ32A、B、Cは、ピエゾ伸縮素子、ボイスコイルモータ、DCモータとリフト・カムの組合せ機構等で構成される。そして3つのZアクチュエータを同じ量だけZ方向に駆動させると、ホルダテーブルWHをZ方向（フォーカス方向）に平行移動させることができ、3つのZアクチュエータを互いに異なる量だけZ方向に駆動させると、ホルダテーブルWHの傾斜（チルト）方向とその量とが調整できる。

【0019】また、XYステージ34の2次元移動は、送りネジを回転させるDCモータや非接触に推力を発生させるリニアモータ等で構成される駆動モータ36によって行われる。この駆動モータ36の制御は、ホルダテーブルWHの端部に固定された移動鏡MRwの反射面のX方向、Y方向の各位置変化を計測するレーザ干渉計33からの計測座標位置を入力するウエハステージ制御器35によって行われる。なお、駆動モータ36をリニアモータとしたXYステージ34の全体構成としては、例えば特開平8-233964号公報に開示された構成を使ってもよい。

【0020】さて、本実施例では投影レンズ系PLのワーキングディスタンスが小さく、投影レンズPLの先端のレンズ素子とウエハWとの間の2～1mm程度の狭い間隔に液体LQを満たすことから、斜入射光方式のフォーカスセンサーの投光ビームを投影レンズ系PLの投影視野に対応したウエハ面上に斜めに投射することが難しい。このため本実施例では図1に示す通り、オフ・アクシス方式（投影レンズ系PLの投影視野内にフォーカス検出点がない方式）のフォーカス・レベリング検出系と、オフ・アクシス方式でウエハW上のアライメント用のマークを検出するマーク検出系とを含むフォーカス・アライメントセンサーFADを投影レンズ系PLの鏡筒

の下端部周辺に配置する。

【0021】このフォーカス・アライメントセンサーFADの先端に取り付けられた光学素子（レンズ、ガラス板、プリズム等）の下面は、図1に示すように液体LQ中に配置され、その光学素子からはアライメント用の照明ビームやフォーカス検出用のビームが液体LQを通してウエハW（又は補助プレート部HRS）の表面上に照射される。そしてフォーカス・レベリング検出系はウエハWの表面の最良結像面に対する位置誤差に対応したフォーカス信号Sfを出力し、マーク検出系はウエハW上

のマークの光学的な特徴に対応した光電信号を解析して、マークのXY位置又は位置ずれ量を表すアライメント信号Saを出力する。

【0022】そして以上のフォーカス信号Sfとアライメント信号Saは主制御器40に送出され、主制御器40はフォーカス信号Sfに基づいて3つのZアクチュエータ32A、B、Cの各々を最適に駆動するための情報をウエハステージ制御器35に送出する。これによってウエハステージ制御器35は、ウエハW上の実際に投影されるべき領域に対するフォーカス調整やチルト調整が行われるように、各Zアクチュエータ32A、B、Cを制御する。

【0023】また主制御器40は、アライメント信号Saに基づいて、レチクルRとウエハWとの相対的な位置関係を整合させるためのXYステージ34の座標位置を管理する。さらに主制御器40は、ウエハW上の各ショット領域を走査露光する際、レチクルRとウエハWとがY方向に投影レンズ系PLの投影倍率と等しい速度比で等速移動するように、レチクルステージ制御器20とウエハステージ制御器35とを同期制御する。

【0024】なお、図1中のフォーカス・アライメントセンサーFADは投影レンズ系PLの先端部周辺の1ヶ所にだけしか設けられていないが、投影レンズ系PLの先端部を挟んでY方向に2ヶ所、X方向に2ヶ所の計4ヶ所に設けておくのがよい。また図1中のレチクルRの上方には、レチクルRの周辺部に形成されたアライメント用のマークとウエハW上のアライメント用のマーク（又は基準マーク板上の基準マーク）とを投影レンズ系PLを通して同時に検出して、レチクルRとウエハWとの位置ずれを高精度に計測するTTR（スルーザレチクル）方式のアライメントセンサー45が設けられている。そしてこのTTRアライメントセンサー45からの位置ずれ計測信号は主制御器40に送出され、レチクルステージ16やXYステージ34の位置決めに使われる。

【0025】ところで図1の露光装置は、XYステージ34をY方向に等速移動させて走査露光を行うものであるが、その走査露光時のレチクルR、ウエハWのスキャン移動とステップ移動とのスケジュールを図2を参照して説明する。図2において、図1中の投影レンズ系PLは、前群レンズ系LGaと後群レンズ系LGbとで代表的に表してあり、その前群レンズ系LGaと後群レンズ系LGbとの間には、投影レンズ系PLの射出瞳Epが存在する。また図2に示したレチクルRには、投影レンズ系PLの物体側の円形イメージフィールドの直径寸法よりも大きな対角長を有する回路パターン領域Paが、遮光帯SBによって区画された内側に形成されている。

【0026】そしてレチクルR上の領域Paは、レチクルRを例えばY軸に沿った負方向に一定速度Vrでスキャン移動させつつ、ウエハWをY軸に沿った正方向に一

10

20

30

40

50

定速度 V_w でスキャン移動させることによって、ウエハW上の対応したショット領域SAaに走査露光される。このとき、レチクルRを照明するパルス照明光ILの領域A1は、図2に示すようにレチクル上の領域Pa内でX方向に伸びた平行なスリット状又は矩形状に設定され、そのX方向の両端部は遮光帯SB上に位置する。

【0027】さて、レチクルR上の領域Pa内のパルス光照明領域A1に含まれる部分パターンは、投影レンズ系PL（レンズ系LGa、LGb）によってウエハW上のショット領域SAa内の対応した位置に像SIとして10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 1040 1041 1042 1043 1044 1045 1046 1047 1048 1049 1050 1051 1052 1053 1054 1055 1056 1057 1058 1059 1060 1061 1062 1063 1064 1065 1066 1067 1068 1069 1070 1071 1072 1073 1074 1075 1076 1077 1078 1079 1080 1081 1082 1083 1084 1085 1086 1087 1088 1089 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097 1098 1099 1100 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 1117 1118 1119 1120 1121 1122 1123 1124 1125 1126 1127 1128 1129 1130 1131 1132 1133 1134 1135 1136 1137 1138 1139 1140 1141 1142 1143 1144 1145 1146 1147 1148 1149 1150 1151 1152 1153 1154 1155 1156 1157 1158 1159 1160 1161 1162 1163 1164 1165 1166 1167 1168 1169 1170 1171 1172 1173 1174 1175 1176 1177 1178 1179 1180 1181 1182 1183 1184 1185 1186 1187 1188 1189 1190 1191 1192 1193 1194 1195 1196 1197 1198 1199 1200 1201 1202 1203 1204 1205 1206 1207 1208 1209 1210 1211 1212 1213 1214 1215 1216 1217 1218 1219 1220 1221 1222 1223 1224 1225 1226 1227 1228 1229 1230 1231 1232 1233 1234 1235 1236 1237 1238 1239 1240 1241 1242 1243 1244 1245 1246 1247 1248 1249 1250 1251 1252 1253 1254 1255 1256 1257 1258 1259 1260 1261 1262 1263 1264 1265 1266 1267 1268 1269 1270 1271 1272 1273 1274 1275 1276 1277 1278 1279 1280 1281 1282 1283 1284 1285 1286 1287 1288 1289 1290 1291 1292 1293 1294 1295 1296 1297 1298 1299 1300 1301 1302 1303 1304 1305 1306 1307 1308 1309 1310 1311 1312 1313 1314 1315 1316 1317 1318 1319 1320 1321 1322 1323 1324 1325 1326 1327 1328 1329 1330 1331 1332 1333 1334 1335 1336 1337 1338 1339 1340 1341 1342 1343 1344 1345 1346 1347 1348 1349 1350 1351 1352 1353 1354 1355 1356 1357 1358 1359 1360 1361 1362 1363 1364 1365 1366 1367 1368 1369 1370 1371 1372 1373 1374 1375 1376 1377 1378 1379 1380 1381 1382 1383 1384 1385 1386 1387 1388 1389 1390 1391 1392 1393 1394 1395 1396 1397 1398 1399 1400 1401 1402 1403 1404 1405 1406 1407 1408 1409 1410 1411 1412 1413 1414 1415 1416 1417 1418 1419 1420 1421 1422 1423 1424 1425 1426 1427 1428 1429 1430 1431 1432 1433 1434 1435 1436 1437 1438 1439 1440 1441 1442 1443 1444 1445 1446 1447 1448 1449 1450 1451 1452 1453 1454 1455 1456 1457 1458 1459 1460 1461 1462 1463 1464 1465 1466 1467 1468 1469 1470 1471 1472 1473 1474 1475 1476 1477 1478 1479 1480 1481 1482 1483 1484 1485 1486 1487 1488 1489 1490 1491 1492 1493 1494 1495 1496 1497 1498 1499 1500 1501 1502 1503 1504 1505 1506 1507 1508 1509 1510 1511 1512 1513 1514 1515 1516 1517 1518 1519 1520 1521 1522 1523 1524 1525 1526 1527 1528 1529 1530 1531 1532 1533 1534 1535 1536 1537 1538 1539 1540 1541 1542 1543 1544 1545 1546 1547 1548 1549 1550 1551 1552 1553 1554 1555 1556 1557 1558 1559 1560 1561 1562 1563 1564 1565 1566 1567 1568 1569 1570 1571 1572 1573 1574 1575 1576 1577 1578 1579 1580 1581 1582 1583 1584 1585 1586 1587 1588 1589 1590 1591 1592 1593 1594 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602 1603 1604 1605 1606 1607 1608 1609 1610 1611 1612 1613 1614 1615 1616 1617 1618 1619 1620 1621 1622 1623 1624 1625 1626 1627 1628 1629 1630 1631 1632 1633 1634 1635 1636 1637 1638 1639 1640 1641 1642 1643 1644 1645 1646 1647 1648 1649 1650 1651 1652 1653 1654 1655 1656 1657 1658 1659 1660 1661 1662 1663 1664 1665 1666 1667 1668 1669 1670 1671 1672 1673 1674 1675 1676 1677 1678 1679 1680 1681 1682 1683 1684 1685 1686 1687 1688 1689 1690 1691 1692 1693 1694 1695 1696 1697 1698 1699 1700 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 1713 1714 1715 1716 1717 1718 1719 1720 1721 1722 1723 1724 1725 1726 1727 1728 1729 1730 1731 1732 1733 1734 1735 1736 1737 1738 1739 1740 1741 1742 1743 1744 1745 1746 1747 1748 1749 1750 1751 1752 1753 1754 1755 1756 1757 1758 1759 1760 1761 1762 1763 1764 1765 1766 1767 1768 1769 1770 1771 1772 1773 1774 1775 1776 1777 1778 1779 1780 1781 1782 1783 1784 1785 1786 1787 1788 1789 1790 1791 1792 1793 1794 1795 1796 1797 1798 1799 1800 1801 1802 1803 1804 1805 1806 1807 1808 1809 1810 1811 1812 1813 1814 1815 1816 1817 1818 1819 1820 1821 1822 1823 1824 1825 1826 1827 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 1844 1845 1846 1847 1848 1849 1850 1851 1852 1853 1854 1855 1856 1857 1858 1859 1860 1861 1862 1863 1864 1865 1866 1867 1868 1869 1870 1871 1872 1873 1874 1875 1876 1877 1878 1879 1880 1881 1882 1883 1884 1885 1886 1887 1888 1889 1890 1891 1892 1893 1894 1895 1896 1897 1898 1899 1900 1901 1902 1903 1904 1905 1906 1907 1908 1909 1910 1911 1912 1913 1914 1915 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1923 1924 1925 1926 1927 1928 1929 1930 1931 1932 1933 1934 1935 1936 1937 1938 1939 1940 1941 1942 1943 1944 1945 1946 1947 1948 1949 1950 1951 1952 1953 1954 1955 1956 1957 1958 1959 1960 1961 1962 1963 1964 1965 1966 1967 1968 1969 1970 1971 1972 1973 1974 1975 1976 1977 1978 1979 1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035 2036 2037 2038 2039 2040 2041 2042 2043 2044 2045 2046 2047 2048 2049 2050 2051 2052 2053 2054 2055 2056 2057 2058 2059 2060 2061 2062 2063 2064 2065 2066 2067 2068 2069 2070 2071 2072 2073 2074 2075 2076 2077 2078 2079 2080 2081 2082 2083 2084 2085 2086 2087 2088 2089 2090 2091 2092 2093 2094 2095 2096 2097 2098 2099 2100 2101 2102 2103 2104 2105 2106 2107 2108 2109 2110 2111 2112 2113 2114 2115 2116 2117 2118 2119 2120 2121 2122 2123 2124 2125 2126 2127 2128 2129 2130 2131 2132 2133 2134 2135 2136 2137 2138 2139 2140 2141 2142 2143 2144 2145 2146 2147 2148 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156 2157 2158 2159 2160 2161 2162 2163 2164 2165 2166 2167 2168 2169 2170 2171 2172 2173 2174 2175 2176 2177 2178 2179 2180 2181 2182 2183 2184 2185 2186 2187 2188 2189 2190 2191 2192 2193 2194 2195 2196 2197 2198 2199 2200 2201 2202 2203 2204 2205 2206 2207 2208 2209 2210 2211 2212 2213 2214 2215 2216 2217 2218 2219 2220 2221 2222 2223 2224 2225 2226 2227 2228 2229 2230 2231 2232 2233 2234 2235 2236 2237 2238 2239 2240 2241 2242 2243 2244 2245 2246 2247 2248 2249 2250 2251 2252 2253 2254 2255 2256 2257 2258 2259 2260 2261 2262 2263 2264 2265 2266 2267 2268 2269 2270 2271 2272 2273 2274 2275 2276 2277 2278 2279 2280 2281 2282 2283 2284 2285 2286 2287 2288 2289 2290 2291 2292 2293 2294 2295 2296 2297 2298 2299 2300 2301 2302 2303 2304 2305 2306 2307 2308 2309 2310 2311 2312 2313 2314 2315 2316 2317 2318 2319 2320 2321 2322 2323 2324 2325 2326 2327 2328 2329 2330 2331 2332 2333 2334 2335 2336 2337 2338 2339 2340 2341 2342 2343 2344 2345 2346 2347 2348 2349 2350 2351 2352 2353 2354 2355 2356 2357 2358 2359 2360 2361 2362 2363 2364 2365 2366 2367 2368 2369 2370 2371 2372 2373 2374 2375 2376 2377 2378 2379 2380 2381 2382 2383 2384 2385 2386 2387 2388 2389 2390 2391 2392 2393 2394 2395 2396 2397 2398 2399 2400 2401 2402 2403 2404 2405 2406 2407 2408 2409 2410 2411 2412 2413 2414 2415 2416 2417 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425 2426 2427 2428 2429 2430 2431 2432 2433 2434 2435 2436 2437 2438 2439 2440 2441 2442 2443 2444 2445 2446 2447 2448 2449 2450 2451 2452 2453 2454 2455 2456 2457 2458 2459 2460 2461 2462 2463 2464 2465 2466 2467 2468 2469 2470 2471 2472 2473 2474 2475 2476 2477 2478 2479 2480 2481 2482 2483 2484 2485 2486 2487 2488 2489 2490 2491 2492 2493 2494 2495 2496 2497 2498 2499 2500 2501 2502 2503 2504 2505 2506 2507 2508 2509 2510 2511 2512 2513 2514 2515 2516 2517 2518 2519 2520 2521 2522 2523 2524 2525 2526 2527 2528 2529 2530 2531 2532 2533 2534 2535 2536 2537 2538 2539 2540 2541 2542 2543 2544 2545 2546 2547 2548 2549 2550 2551 2552 2553 2554 2555 2556 2557 2558 2559 2560 2561 2562 2563 2564 2565 2566 2567 2568 2569 2570 2571 2572 2573 2574 2575 2576 2577 2578 2579 2580 2581 2582 2583 2584 2585 2586 2587 2588 2589 2590 2591 2592 2593 2594 2595 2596 2597 2598 2599 2600 2601 2602 2603 2604 2605 2606 2607 2608 2609 2610 2611 2612 2613 2614 2615 2616 2617 2618 2619 2620 2621 2622 2623 2624 2625 2626 2627 2628 2629 2630 2631 2632 2633 2634 2635 26

制御できる精度は $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 程度である。そこでこのような温調精度のもとでの現実的な液浸投影法を考えてみる。一般に空気屈折率の温度係数 N_a は約 $-9 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ であり、水の屈折率の温度係数 N_w は約 $-8 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ であり、水の屈折率の温度係数 N_w の方が2桁程度も大きい。一方、ワーキングディスタンス L とすると、ワーキングディスタンス L を満たす媒質の温度変化(温度むら)量 ΔT に起因して生じる結像の波面収差量 ΔF は近似的に次式で表される。

$$\Delta F = L \cdot |N| \cdot \Delta T$$

【0034】ここで、液浸投影法を適用しない通常の投影露光の場合、ワーキングディスタンス L を10mm、温度変化量 ΔT を 0.01°C としたときの波面収差量 ΔF_{10} は以下になる。

$$\Delta F_{10} = L \cdot |N_w| \cdot \Delta T \approx 0.09 \text{ nm}$$

また同じワーキングディスタンス L と温度変化量 ΔT の下で、液浸投影法を適用した場合に得られる波面収差量 ΔF_{10} は以下になる。

$$\Delta F_{10} = L \cdot |N_a| \cdot \Delta T \approx 8 \text{ nm}$$

【0035】この波面収差量は、一般に使用波長 λ の1/30ないしは1/50~1/100程度が望ましいとされているから、ArFエキシマレーザを使った場合に許容される最大の波面収差量 ΔF_{10} は、 $\lambda/30$ ないしは $\lambda/50 \sim \lambda/100$ 程度の6.43ないしは3.86~1.93nmに定められ、望ましくは $\lambda/100$ の1.93nm以下に定められる。ところで空気と水の 0°C における各熱伝導率は、空気 0.0241 W/mK となり、水 0.561 W/mK となり、水の方が熱伝導が良く、水中に形成される光路内での温度むらは空気中のそれよりも小さくでき、結果的に液体中で発生する屈折率の揺らぎも小さくできる。しかしながら、式(3)に表したようにワーキングディスタンス L が10mm程度の場合、温度変化量 ΔT が 0.01°C であったとしても、発生する波面収差量 ΔF_{10} は許容収差量 ΔF_{10} を大きく超えてしまう。

【0036】そこで以上の考察から、許容波面収差量 ΔF_{10} を考慮した温度変化量 ΔT とワーキングディスタンス L との関係は、

$$\Delta F_{10} = \lambda/30 \geq L \cdot |N_a| \cdot \Delta T$$

ないしは、

$$\Delta F_{10} = \lambda/100 \geq L \cdot |N_a| \cdot \Delta T$$

となる。ここで、想定される温度変化量 ΔT を 0.01°C 、波長 λ を193nm、そして液体LQの屈折率変化量 N_w を $-8 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$ とすると、必要とされるワーキングディスタンス(液体層の厚み) L は、8mmないしは2.4mm以下となる。望ましくは、そのワーキングディスタンス L を液体LQがスムーズに流れる範囲内で2mmよりも小さくした方がよい。以上のように本実施例のように構成することにより、液体LQの温度制御が容易になるとともに、液体層内の温度変化に起因した

波面収差変化で生じる投影像の劣化が抑えられ、極めて高い解像力でレチクルRのパターンを投影露光することが可能となる。

【0037】

【第2の実施例の説明】次に、本発明の第2の実施例について図4を参照して説明する。本実施例は、先の第1の実施例にも同様に適用可能な液体LQの温度制御法とウエハWの交換時の液体LQの取り扱い方法とを示す。従って、図4において先の図1、3中の部材と同じものには同一の符号をつけてある。さて、図4においてホルダテーブルWHの内底部に円形の凹部として形成されたウエハ載置部には複数の吸着面113が形成されている。そして円形のウエハ載置部の周辺には、液体LQの供給と排出に用いる溝51が環状に形成され、その溝51の一部は、テーブルWH内に形成された通路52を介して、外部のパイプ53につながれている。またホルダテーブルWH内のウエハ載置部の直下と補助プレート部HRSの直下には、ヘルチェ素子等の温度調整器50A、50Bが埋め込まれ、ホルダテーブルWH上の適当な位置(望ましくは複数ヶ所)には温度センサー55が取り付けられて、液体LQの温度が精密に検出される。そして温度調整器50A、50Bは、温度センサー55によって検出される液体LQの温度が一定値になるように、制御器60によって制御される。

【0038】一方、パイプ53は、切り替えバルブ62を介して、液体供給ユニット64と排出ポンプ66に接続されている。切り替えバルブ62は、制御器60からの指令にตอบสนองして、液体供給ユニット64からの液体LQをパイプ53に供給する流路か、パイプ53からの液体LQを排出ポンプ66を介して供給ユニット64に戻す流路かを切り替えるように動作する。また供給ユニット64内には、ホルダテーブルWH上の液体LQの全体を収容可能なリザーブタンク(不図示)と、このタンクから液体LQを供給するポンプ64Aと、そのポンプ64Aを含めタンク内の液体LQ全体を一定の温度に保つ温調器64Bとが設けられている。さらに以上の構成において、バルブ62、ポンプ64A、温調器64B、排出ポンプ66の各動作は、制御器60によって統括的に制御される。

【0039】さて、このような構成において、ウエハWがホルダテーブルWHの載置部上に搬送され、ブリアライメントされた状態で複数の吸着面113上に載置されると、図3に示した真空吸着用の配管112を介して減圧固定される。この間、温度調整器50A、50Bは、目標となる温度に制御され続けている。そしてウエハWの真空吸着が完了すると、切り替えバルブ62がクローズ位置から供給ユニット64側に切り替わり、温度調整された液体LQがポンプ64Aの作動によって、パイプ53、通路52、溝51を介してホルダテーブルWHの壁部LBの内部に一定量だけ注入されて、切り替えバル

ブ62がクローズ位置に戻る。その後、ウエハWに対する露光が完了すると、直ちに切り替えバルブ62がクローズ位置から排出ポンプ66側に切り替わり、排出ポンプ66の作動によってテーブルWH上の液体LQが溝51、パイプ53を介して供給ユニット64のリザーブタンク内に戻される。そのタンク内に戻された液体LQは、リザーブタンク内の温度センサーからの検出信号に基づいて、次のウエハが準備できるまで温調器64Bによって精密に温度制御される。

【0040】このように本実施例によれば、液浸露光中の液体LQはホルダテーブルWH内の温度調整器50A、50Bによって温度制御され、ウエハ交換動作中は液体LQを供給ユニット64内に回収して温度制御するようにしたので、ウエハ交換が大気中で可能になるとともに、液体LQの大きな温度変化を防止できると云った利点がある。さらに本実施例によれば、ウエハ交換後にホルダテーブルWHに注入される液体LQは、たとえ設定温度に対して僅か（例えば0.5℃程度）に異なっていたとしても、液体層の深さHq（図3参照）が総じて浅いために比較的早く設定温度に到達し得るから、温度安定を待つ時間も短縮され得る。

【0041】

【第3の実施例の説明】次に第3の実施例について図5を参照して説明する。図5は先の図3の構成を改良したホルダテーブルWHの部分断面を表し、この実施例のホルダテーブルWHは、ウエハWを保持するウエハチャック90と、フォーカス・レベリングのためのZ方向移動とチルト移動を行うZLステージ82とに別れており、ZLステージ82上にウエハチャック90が載置されている。そしてZLステージ82は、3つのZアクチュエータ32A、32C（32Bは省略）を介して、XYステージ34上に設けられる。そしてチャック90には、図1、3、4と同様に、壁部LB、補助プレート部HR S、真空吸着用の配管112、液体LQの供給、排出用のパイプ53（図4参照）に接続される通路53A、53Bがそれぞれ形成されている。ただし、通路53Aはウエハチャック90内部の補助プレート部HR Sの周辺部分につながっており、通路53Bはウエハチャック90内底部のウエハ載置部の最も低い部分につながっている。このようにウエハチャック90内の複数ヶ所に液体排出、注入用の通路を形成しておく、液体の出し入れが迅速に行われる。

【0042】さらに本実施例では、チャック90の中央部に3つ（2つのみ図示）の貫通孔91が形成され、この貫通孔91を通して上下動する3つ（2つのみ図示）のセンターアップピン83が、上下動駆動機構85の上に設けられている。この上下動駆動機構85は、XYステージ34側に固定される。その3つのセンターアップピン83は、ウエハ交換時にチャック90上のウエハWを載置面から一定量だけ持ち上げたり、ウエハWを載置

面上に下ろしたりするためのものであり、ウエハWがチャック90の載置面に真空吸着された状態では、図5に示すようにセンターアップピン83の先端面は、チャック90の載置面よりも下がった位置に設定される。

【0043】一方、本実施例で使用する投影レンズ系PLの先端部には、サブ鏡筒80の先端に光軸AXと垂直に固定された石英の平行平板CGが取り付けられ、したがって先端のレンズ素子LE1（平凸レンズ）が液体LQに浸かることがないように構成されている。本実施例では、この平行平板CGの下面とウエハWの表面との間隔が、見かけ上のワーキングディスタンスとなり、先の実施例と同様に2mm以下に設定される。またサブ鏡筒80の平行平板CGとの取り付け面は防水加工され、サブ鏡筒80の内部には窒素ガスが充填されている。

【0044】このように投影レンズ系PLの先端に平行平板CGを設けるようにすると、投影レンズ系PLの実質的なバックフォーカス距離（屈折力を持つ先端の光学素子から像面までの距離）が10～15mm程度であっても、容易にワーキングディスタンスLを1～2mm程度にして液体の温度変化の影響を低減させた液浸投影法が実現できる。また、平行平板CGは後付けで設けることができるから、平行平板CGの表面の一部分を波長の数分の1程度のオーダーで研磨することにより、投影像内で生じている局所的な微小歪曲収差（あるいはランダムなディストーション）を容易に修正することが可能となる。すなわち、平行平板CGは投影レンズ系PLの最先端のレンズ素子を液体から保護する窓としての機能と、ディストーション補正板としての機能とを兼ね備えることになる。なお、別の見方をすれば平行平板CGを含めて投影レンズ系PLの結像性能が保証されているので、平行平板CGが投影レンズ系PLの最先端の光学素子であることに変わりはない。

【0045】

【第4の実施例の説明】次に本発明の第4の実施例について図6を参照して説明する。本実施例は、先の図5に示した実施例とも関連し、ワーキングディスタンスを極めて小さくした投影光学系を液浸投影露光法に使用した場合のウエハ交換に関するものである。図6において、投影レンズ系PLの鏡筒の下端部には、図1に示したレーザ干渉計33からの参照用ビームBSrを受けて反射する参照ミラーML（X方向用とY方向用）が固定されている。そしてレーザ干渉計33からの測長用ビームBSmは、先の図5に示したようなZLステージ82の端部に固定された移動鏡MRwに投射され、その反射ビームはレーザ干渉計33に戻り、参照用ビームBSrの反射ビームと干渉して移動鏡MRwの反射面の座標位置、すなわちウエハWのX、Y方向の座標位置が、参照ミラーMLを基準として計測される。さて、本実施例においても、ZLステージ82は3つのZアクチュエータ32A、32B（32Cは省略）を介してXYステージ34

上に取り付けられ、Z方向とチルト方向とに移動可能となっている。ただし、Zステージ82は、その周辺の3ヶ所で板バネ84A、84B(84Cは省略)を介してXYステージ34と結合され、XYステージ34に対する水平方向(XY面内)の剛性が極めて大きくなるように支持される。

【0046】そして本実施例でも、先の図5と同様のウエハチャック90がZステージ82上に設けられるが、図5と異なる点は、ウエハチャック90を複数のZ方向の駆動機構88A、88Bによって比較的大きなストローク(10~15mm程度)でZステージ82に対してZ方向に移動する構成にしたことである。この駆動機構88A、88Bは、フォーカス・レベリングのためのZアクチュエータ32A、B、Cと異なり、ウエハチャック90をそのストロークの両端間で移動させるだけでよく、エア・シリンダやリンク機構等を使った簡単なエレベーション機能でよい。さらに図6の実施例では、先の図5に示したセンターアップピン83がXYステージ34上に上下動することなく固定されている。そして図6のようにウエハチャック90が最も上昇した状態では、ウエハWの表面が投影レンズ系PLの先端の光学素子の面から1~2mm程度に設定され、センターアップピン83の先端面はウエハチャック90のウエハ載置面よりもわずかに下側(2~3mm程度)に下がっている。

【0047】以上のような構成で、図6はウエハWに対する露光動作時の状態を表し、その露光動作が完了すると先の図4に示した液体LQの排出操作によってウエハチャック90上の液体LQを一時的に排出する。その後、ウエハチャック90の真空吸着が解除されると、駆動機構88A、88Bを作動させてウエハチャック90を図6の位置から最も下にダウンさせる。これによってウエハWは3つのセンターアップピン83の先端面上に載せ替えられるとともに、ウエハチャック90周辺の壁部LBの上端面が投影レンズ系PLの先端面(図3中ではレンズ素子LE1の下面Pe、図5中では平行平板CGの下面)よりも低くなるように位置決めされる。その状態でXYステージ34をウエハ交換位置まで移動させると、ウエハWは投影レンズ系PLの直下から引き出されて、搬送用のアーム95の方に移動する。このときアーム95は、ウエハチャック90の壁部LBの上端面よりは高く、且つセンターアップピン83上のウエハWよりは低くなるような高さに設定された状態で、ウエハWの下側に入り込む。それからアーム90はウエハWを上方向にわずかに持ち上げつつ真空吸着を行い、所定のアンロード位置に向けてウエハWを搬送する。ウエハWの搬入は、以上のシーケンスとは全く逆に行われる。

【0048】ところで図6に示したように、レーザ干渉計33が参照ビームBSrを投影レンズ系PLの参照ミラーMLに投射するような方式の場合、参照ビームBS

rの光路の直下に液体LQのプールが広がっているため、その液体LQの飽和蒸気の上昇によって参照ビームBSrの光路に揺らぎを与えることが考えられる。そこで本実施例では、参照ビームBSrの光路と液体LQとの間にカバー板87を配置し、液体LQから上昇する蒸気流を遮断して参照ビームBSrの光路で発生する揺らぎを防止する。

【0049】なお、カバー板87の上部空間には、参照ビームBSrの光路をより安定にするために、光路と交差する方向に温度制御された清浄な空気を送風してもよい。この場合、カバー板87は光路空調用の空気が直接液体LQに吹き付けられることを防止する機能も備えることになり、液体LQの不要な蒸発を低減させることができる。また、単なるカバー板87に代えて、参照ビームBSrの光路全体を遮風筒で覆う構成にしてもよい。

【0050】

【第5の実施例の説明】次に本発明の第5の実施例を図7(A)、(B)を参照して説明する。本実施例は先の図1に示したホルダテーブルWHの構造に、図5に示したセンターアップ機構(ピン83、Z駆動部85)を組合わせたものであり、ウエハ交換を簡単にするようにホルダテーブルWHを改良したものである。そして図7(B)はその改良されたホルダテーブルWHの平面を表し、図7(A)は図7(B)中の7A矢視の断面を表す。その図7(A)、(B)から分かるように、ホルダテーブルWHは、XYステージ34上に3つのZアクチュエータ32A、32C(32Bは省略)を介して保持され、ホルダテーブルWHの中央付近には3つの貫通孔91が設けられている。この貫通孔91には、駆動部85によって上下動するセンターアップピン83が通る。

【0051】先にも説明したように、投影レンズ系PLの最下端面の高さは、そのままでは補助プレート部HRS(ウエハW)の表面から2mm程度しか離れていない。さらにホルダテーブルWHの周辺に設けられた壁部LBの上端は投影レンズ系PLの最下端面よりも高い。従って、ウエハ交換のためにそのままXYステージ34を移動させて投影レンズ系PLの直下からウエハを引き出すように構成した場合、補助プレート部HRSの一部分の幅が投影レンズ系PLの鏡筒の直径寸法程度必要となり、液体LQが注入されるホルダテーブルWHの内容積を大きくすることになる。

【0052】そこで本実施例では、図7に示すようにホルダテーブルWHの壁部LBの一部を切り欠いて、そこに開閉自在な液密ドア部DBを設けた。この液密ドア部DBは、液体LQが注入されている間は常に図7

(A)、(B)のように壁部LBの切り欠き部を液密状態で閉じており、液体LQがホルダテーブルWH上から排出されると、図7(A)中の破線のように開くようになっていく。その液密ドア部DBは、開いた状態では補助プレート部HRSの表面の高さよりも若干低くなるよ

うに設定されている。また液密ドア部DBの内壁と接するホルダテーブルWH本体側の壁部分（壁部LBの切り欠き部等）には、図7（B）のように液密性を確実にするリングOLが適宜の位置に設けられている。

【0053】以上のような構成において、ホルダテーブルWH上のウエハを交換する場合は、まずホルダテーブルWH内の液体LQを排出してから、液密ドア部DBを開く。その後、XYステージ34を図7中で右側に移動させると、ウエハは投影レンズ系PLの直下から引き出されることになる。このとき、投影レンズ系PLは丁度開いた液密ドア部DBの上方空間に位置する。それからセンターアップピン83を上昇させてウエハを壁部LBよりも高く持ち上げれば、ウエハは容易に交換することができる。

【0054】本実施例によれば、ホルダテーブルWHの周囲を取り囲む壁部LBの直径を最小にすることが可能となり、ホルダテーブルWH内に満たされる液体LQの総量を最小限に抑えることが可能となり、液体LQの温度管理が容易になるだけでなく、液体LQの注入排出時間も最小になるといった利点がある。なお、前記第4の実施例の構成のときには、ウエハチャックが下降するから特に液密ドア部を設ける必要はないが、第4の実施例の構成において、なおも液密ドア部を設けても良い。

【0055】

【第6の実施例の説明】次に図8は本発明の第6の実施例を示し、この実施例では下部容器7と上部容器8を用いている。ウエハ3を載置するウエハホルダー3aは下部容器7の内面底部に形成されており、下部容器7の上面は上部容器8の底面によって密閉されており、下部容器7の全容積は浸液7aによって完全に満たされている。他方上部容器8にも浸液8aが満たされており、その浸液8a内に投影光学系1の最終レンズ面1aが浸されている。

【0056】下部容器7内の浸液7aの一部分は、下部容器7の一側面に設けた排出口5より温度調節器6に導かれ、温度調節器6において温度調節を受けた後に、下部容器7の他側面に設けた注入口4より下部容器7に戻るよう循環している。下部容器7内の複数箇所には温度センサー（図示せず）が取り付けられており、温度調節器6は温度センサーからの出力に基づいて、下部容器7内の浸液7aの温度が一定となるように制御している。また上部容器8内の浸液8aについても、同様の温度調節機構が設けられている。

【0057】この実施例においては、下部容器7と上部容器8を一体として移動することにより、ウエハ3を移動している。他方、ウエハ3を収容した下部容器内の浸液は実質的に密閉されているから、温度安定性の点で有利であるだけでなく、浸液中の渦等の流れによる圧力分布も発生しない。すなわち浸液中の圧力分布は、屈折率の揺らぎとなり結像液面収差悪化の要因となるが、この

第6の実施例において圧力分布が問題になるのは、上部容器8に満たされた浸液8aのみで、この部分の光路L₁を十分に短く形成することにより、ウエハ移動時の浸液流れの影響を実用上問題にならないレベルまで緩和することが出来る。

【0058】なお本実施例では下部容器7と上部容器8を一体として移動したが、下部容器7のみを移動し、上部容器8を固定することもできる。この構成のときには、上部容器8内の浸液8aは完全に停止することになる。したがってワーキングディスタンスL₁のうちで、上部容器8内の浸液8aの厚さL₁よりも、下部容器7内の浸液7aの厚さL₂の方を十分に薄く形成することが好ましい。

【0059】

【その他の変形例の説明】以上、本発明の各実施例を説明したが、先の図1に示したように液浸投影露光時のワーキングディスタンスは1～2mm程度と極めて小さいため、ウエハWに対する焦点合せはオフ・アクシス方式のフォーカス・アライメントセンサーFADを使うものとした。しかしながら、例えば米国特許4,801,977号、米国特許4,383,757号等に開示されているように、投影レンズ系PLの投影視野内の周辺部を介してフォーカス検出用のビームをウエハ上に投射してウエハ表面の高さ位置又は傾きを計測するTTL（スルーザレンズ）方式のフォーカス検出機構を設けてもよい。

【0060】また、図1に示したフォーカス・アライメントセンサーFADは、オフ・アクシス方式でウエハW上のアライメントマークを光学的に検出するものとしたが、このアライメントセンサーもレチクルRと投影レンズ系PLとを通してウエハW上のマークを検出する図1中のTTRアライメントセンサー45の他に、投影レンズ系PLのみを通してウエハW上のマークを検出するTTL方式のアライメントセンサーとしてもよい。さらに本発明は、紫外線域（波長400nm以下）のもとで投影露光する投影光学系を備えていれば、どのような構成の露光装置であっても全く同様に適用し得る。

【0061】

【発明の効果】以上のように本発明により、実現可能な温度コントロールの範囲内で、十分な結像性能が保証された液浸型の露光装置が提供された。また、液浸型露光装置におけるウエハのローディングとアンローディングに適したウエハステージの構造も提供された。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例による走査型の投影露光装置の全体的な構成を示す図である。

【図2】走査露光のシーケンスを模式的に説明するための斜視図である。

【図3】図1中の投影レンズ系付近の詳細な構成を示す部分断面図である。

【図4】本発明の第2の実施例による液体の温度制御と液体供給システムとを模式的に示すブロック図である。

【図5】本発明の第3の実施例によるウエハホルダーと投影レンズ系付近の構造を示す部分断面図である。

【図6】本発明の第4の実施例によるウエハホルダーと投影レンズ系付近の構造を示す部分断面図である。

【図7】本発明の第5の実施例によるホルダテーブルの構造を示す(A)断面図と、(B)平面図である。

【図8】本発明の第6の実施例の要部を示す概略断面図である。

【符号の説明】

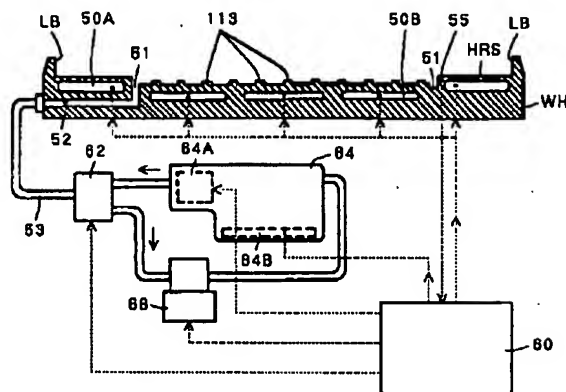
1…投影光学系
7、8…容器
3…ウエハ
4…注入口
6…温度調節器
スタンス
10…照明系
レンズ系
14…ミラー
ージ
17…レーザ干渉計システム
19…コラム構造体
ージ制御器
30…ベース定盤
2C…アクチュエータ
33…レーザ干渉計システム
35…ウエハステージ制御器
40…主制御器
度調整器
51…溝51
53…パイプ
路

1a…最終レンズ面
7a、8a…浸液
3a…ウエハホルダー
5…排出口
L…ワーキングディ
12…コンデンサー
16…レチクルステ
18…モータ
20…レチクルステ
32A、32B、3
34…XYステージ
36…駆動モータ
50A、50B…温
52…通路
53A、53B…通
路

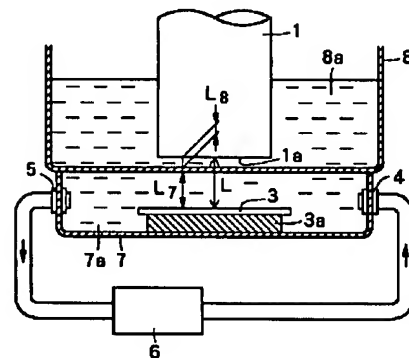
* 55…温度センサー
62…切り替えバルブ
ット
64A…ポンプ
66…排出ポンプ66
82…ZLステージ
ブビン
84A、84B…板バネ
構
10 87…カバー板
動機構
90…ウエハチャック
95…アーム
113…吸着面
IL…パルス照明光
R…レチクル
領域
SB…遮光帯
AX…光軸
20 系
LGb…後群レンズ系
LE1…正レンズ素子
CG…平行平板
SAa、SAb…ショット領域
WH…ホルダテーブル
LQ…液体
ト部
DB…液密ドア部
FAD…フォーカス・アライメントセンサー
MRr、MRw…移動鏡
BSr…参照用ビーム
ム
Sf…フォーカス信号
信号

60…制御器
64…液体供給ユニ
64B…温度器
80…サブ鏡筒
83…センターアッ
85…上下動駆動機
88A、88B…駆
91…貫通孔
112…配管
114…外周角部
AI…照明領域
Pa…回路パターン
PL…投影レンズ系
LGa…前群レンズ
Ep…射出瞳
Pe…下面
W…ウエハ
SI…投影像
LB…壁部
HRS…補助ブレー
OL…Oリング
ML…参照ミラー
BSm…測長用ビー
Sa…アライメント

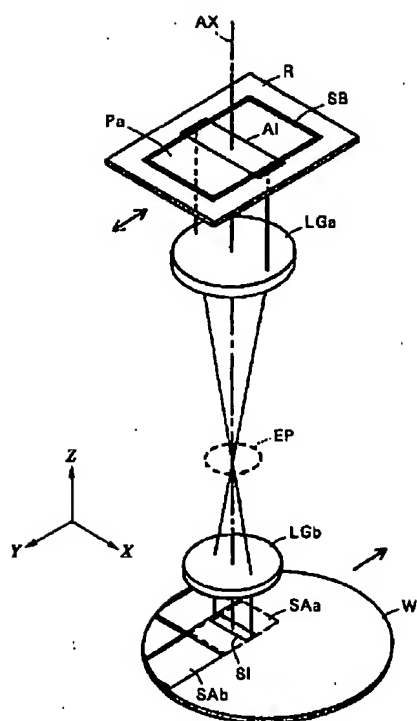
【図4】



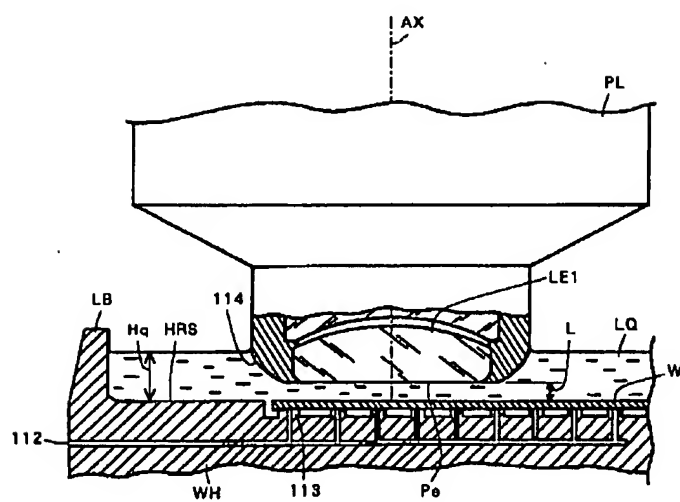
【図8】



【図2】



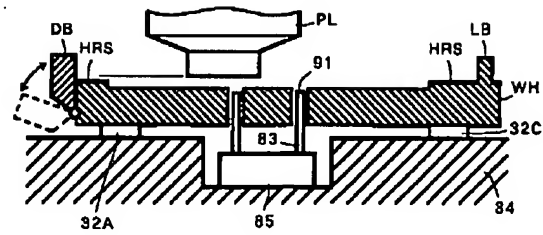
【圖3】



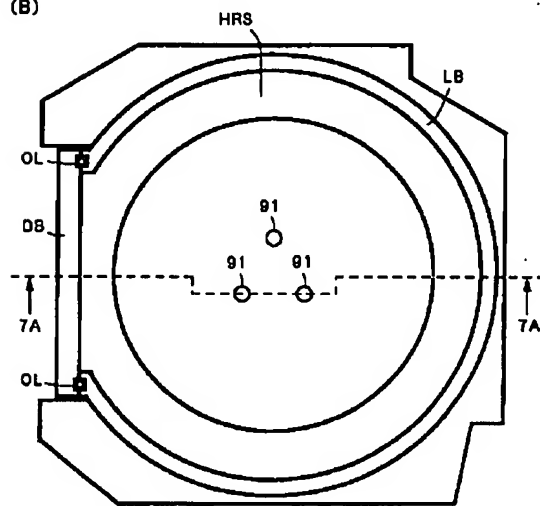
[illegible]

【図7】

(A)



(B)



(54) [Title of the Invention] IMMERSION EXPOSURE APPARATUS

(57) [Abstract]

[Problem] To provide an immersion exposure apparatus that does not cause the degradation of its image forming performance.

[Solution] An immersion exposure apparatus has a projection optical system PL for exposure-transferring of a pattern Pa, on a reticle R, onto a wafer W. In the immersion exposure apparatus, at least part of working distance L between the wafer and the lens surface Pe closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid LQ through which exposure light IL passes. The immersion exposure apparatus is so constructed that the working distance will meet the following relation: $L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$, where L is the length of the working distance, λ is the wavelength of the exposure light IL, and N (1/°C) is the temperature coefficient of the refractive index of the liquid LQ. In addition, pure water with an additive added in it to reduce the surface tension of the pure water or enhance the interface activity of the pure water is used as the liquid LQ.

[Claims]

[Claim 1] An immersion exposure apparatus, which has a projection optical system for exposure transferring of a pattern on a reticle, onto a wafer, and in which at least part of working distance between the wafer and the lens surface closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid through which exposure light passes, the immersion exposure apparatus characterized in that the working distance will meet the following relation:

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|),$$

where L is the length of the working distance, λ is the wavelength of the exposure light IL, and N (1/°C) is the temperature coefficient of the refractive index of the liquid LQ.

[Claim 2] An immersion exposure apparatus, which has a projection optical system for exposure-transferring of a pattern, written on a reticle, onto a wafer, and in which at least part of working distance between the wafer and the lens surface closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid through which exposure light passes, the immersion exposure apparatus characterized in that pure water with an additive added in it to reduce the surface tension of the pure water or enhance the interface activity of the pure water is used as the liquid.

[Claim 3] The immersion exposure apparatus according to claim 1 or 2, wherein the length L of the working distance is 2 mm or less.

[Claim 4] The immersion exposure apparatus according to claim 1, 2, or 3, wherein the reticle and the wafer are so arranged that they can be scanned synchronously at a constant speed with a speed ratio corresponding to the magnification of the projection optical system.

[Claim 5] The immersion exposure apparatus according to claim 1, 2, 3, or 4, wherein light in the ultraviolet band is used as the exposure light.

[Claim 6] The immersion exposure apparatus according to claim 1, 2, 3, 4 or 5, wherein the optical surface of the front optical element closest to the wafer side in the projection optical system is formed flat, the lower end face of a lens barrel holding the front optical element is formed flush with the optical surface, and the outer circumferential face at the lower end of the lens barrel is chamfered.

[Claim 7] The immersion exposure apparatus according to claim 6, wherein the front optical element is a parallel flat plate.

[Claim 8] The immersion exposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the wafer is held by a holder table, a wall is provided around the perimeter of the upper face of the holder table so that the liquid can be filled in the working distance, a liquid supply unit is provided inside the holder table so that the liquid can be supplied and recovered, and thermoregulators are provided in both the holder table and the liquid supply unit.

[Claim 9] The immersion exposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the wafer is held by a wafer chuck, a wall is provided around the perimeter of the upper face of the wafer chuck so that the liquid can be filled in the working distance, at least three pins are provided through the wafer chuck, and an elevation driving device is provided to enable the pins to lift up the wafer from the wafer chuck.

[Claim 10] The immersion exposure apparatus according to any one of claims 1 through 7, wherein the wafer is held by a wafer chuck, a wall is provided around the perimeter of the upper face of the wafer chuck so that the liquid can be filled in the working distance, at least three pins are provided through the wafer chuck, and an elevation driving device is so provided that the upper end of the wall of the wafer chuck can be lower than the lower end of the projection optical system.

[Claim 11] The immersion exposure apparatus according to any one of claims 1 through 10, wherein a liquid sealing door is provided in a portion of the wall to freely open or close in order to avoid interference with the lower end part of the projection optical system.

[Claim 12] The immersion exposure apparatus according to any one of claims 1 through 11, wherein a mirror for an interferometer is attached to the side face of the projection optical system, and protection means is provided for separating a light beam incident on and reflected from

the mirror from vapor generated from the liquid.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] The present invention relates to an exposure apparatus for printing a pattern on a reticle, onto a wafer through a projection optical system, and particularly to an immersion exposure apparatus.

[0002]

[Description of the Prior Art] Clearance between the last or front lens surface of an optical system and an image surface is called working distance. The working distance of a projection optical system in the conventional exposure apparatus or exposure apparatus is filled with air. It is common practice to take a working distance of 10mm or more for some reason such as to include an autofocus optical system. On the other hand, with ever increasing demand for finer patterns to be transferred to a wafer, it is necessary to make the exposure wavelength shorter or increase the numerical aperture. However, since there are restrictions on the types of glass materials that allow light having a short wavelength to pass through, immersion type exposure apparatus have been proposed in which the working distance is filled with a liquid to increase the numerical aperture and hence make the exposed pattern finer.

[0003] The immersion type exposure apparatus could cause an uneven distribution of refractive indexes due to a temperature distribution of the liquid interposed in the

working distance. Therefore, the following techniques have been proposed as measures against the degradation of image forming performance caused by liquid temperature changes: namely, (A) a technique for stabilizing temperature through a liquid temperature stabilizing mechanism as disclosed in FIG. 3 of US Patent No. 4,346,164, or for making temperature uniform using a vibration-agitator mechanism as disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 06-124873; and (B) a technique, as also disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 6-124873, for measuring the temperature or refractive index of the liquid using a liquid temperature monitoring mechanism to feed it back for temperature control.

[0004]

[Problem to be Solved by the Invention] However, since there has been no discussion regarding the degree of temperature stabilization from a practical perspective to implement the technique (A), this technique actually requires high accuracy of temperature control, as will be described below, which is far from practical. On the other hand, it is also hard to say that the technique (B) is effective because what most affects the image forming performance is the unevenness of temperature. Thus, no conventional techniques for immersion exposure apparatus make direct reference to the restrictions on the optical parameters of the projection optical system such as the working distance, and the immersion technology hardly allows for its peculiarities at present. It is therefore an

object of the present invention to provide an immersion exposure apparatus, which makes it easy to control the temperature of a liquid filled in the working distance to prevent the degradation of image forming performance.

[0005]

[Means for Solving the Problem] The present invention has been made to solve the above-mentioned problem, that is, to provide an immersion exposure apparatus, which has a projection optical system for exposure-transferring of a pattern on a reticle, onto a wafer, and in which at least part of working distance between the wafer and the lens surface closest to the wafer in the projection optical system is filled with a liquid through which exposure light passes, the immersion exposure apparatus characterized in that the working distance meets the following relation:
$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|)$$

where L is the length of the working distance, λ is the wavelength of the exposure light, and N (1/°C) is the temperature coefficient of the refractive index of the liquid. The immersion exposure apparatus is also characterized in that the liquid used is pure water with an additive added in it to reduce the surface tension of the pure water or enhance the interface activity of the pure water.

[0006] The following describes the operation of the present invention. If the distance from the glass surface at the tip end of the projection optical system to an imaging

plane, that is, if the working distance is L , the width of a temperature distribution of the medium filled in the working distance L is ΔT , the aberration of the imaging wavefront caused by the temperature distribution ΔT is ΔF , and the temperature coefficient of the refractive index of the liquid is N , the following expression (1) is approximately established:

$$\Delta F = L \times |N| \times \Delta T \quad \dots(1)$$

[0007] It is assumed that a temperature distribution of about 0.01°C exists in the temperature distribution ΔT of the medium even though temperature is controlled by all means in order to keep it uniform. Therefore, at least the following imaging wavefront aberration ΔF is considered to exist:

$$\Delta F = L \times |N| \times 0.01^\circ\text{C} \quad \dots(1a)$$

where N is a value representing the temperature coefficient of the refractive index in a unit of $1/^\circ\text{C}$.

[0008] The value N of the temperature coefficient of the refractive index varies greatly between liquid and air. For example, for air, $N = -9 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$, and for water, $N = 8 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, that is, the difference is almost 100 times. In general, the working distance L of a projection optical system in a reduction projection exposure apparatus is $L > 10 \text{ nm}$. Even if $L = 10 \text{ nm}$, the imaging wavefront aberration ΔF becomes as follows:

$$\text{For air, } \Delta F = 10 \text{ nm} \times |-9 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}| \times 0.01/^\circ\text{C} = 0.09 \text{ nm}$$

$$\text{For water, } \Delta F = 10 \text{ nm} \times |-8 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}| \times 0.01/^\circ\text{C} = 8.0 \text{ nm}$$

[0009] Therefore, it is preferable that the imaging wavefront aberration ΔF be generally equal to or less than $1/30$ of the exposure wavelength λ , that is, it should meet the following relation:

$$\Delta F \leq \lambda/30 \quad \dots(2)$$

For example, when an ArF excimer laser having a wavelength of 193 nm is used as the exposure light, $\Delta F < 6.4$ nm is desirable. In the case of using water as the medium filled in the working distance, if the working distance L is $L > 10$ mm as in the conventional, the generation of imaging wavefront aberration due to the temperature distribution of the medium is too much, resulting in practical difficulties.

[0010] From the expressions (1a) and (2), the following expression is obtained:

$$L \leq \lambda / (0.3 \times |N|) \quad \dots(3)$$

Therefore, if the expression (3) is satisfied, an immersion exposure apparatus equipped with a projection optical system that reduces the wavefront aberration caused by the temperature distribution in the immersion liquid to $1/30$ or less of the exposure wavelength under the conditions of feasible temperature stability (temperature distribution) can be obtained. As described above, according to the present invention, an upper limit is set on the length of an optical path to mitigate the requirements for a temperature distribution by paying attention to the fact that the amount of wavefront aberration generated when the exposure light passes through the medium having the

temperature distribution depends on the product of the amount of temperature distribution and the length of the optical path in the medium. This makes it possible to put an immersion exposure apparatus to practical use at a feasible level of temperature control of the immersion liquid.

[0011]

[Embodiments of the Invention] The following describes some preferred embodiments of the present invention.

[0012]

[Description of First Embodiment] FIG. 1 shows the overall structure of a projection exposure apparatus or exposure apparatus, according to a first embodiment of the present invention. Here, the projection exposure apparatus is a lens-scanning type projection exposure apparatus, which scans a reticle R and a semiconductor wafer W relative to a reduction projection lens system PL while projecting a circuit pattern on the reticle R to the wafer W through the projection lens system PL having circular image fields telecentrically formed on both the object side and the image side. In FIG. 1, an illumination system 10 includes an ArF excimer-laser light source (not shown) emitting pulsed light having a wavelength of 193 nm, a beam expander (not shown) for shaping the cross section of the pulsed light from the light source, an optical integrator (not shown) such as a fly-eye lens for producing a secondary light-source image (a collection of plural point sources)

from the shaped pulsed light incident on it, a condenser lens system (not shown) for turning the pulsed light from the secondary light-source image into pulsed illumination light having a uniform luminance distribution, a reticle blind (illumination field stop, not shown) for shaping the pulsed illumination light into a rectangular shape elongated in a direction (X direction) perpendicular to the scanning direction (Y direction) during scanning exposure, and a relay optical system (not shown) that cooperates with a condenser lens system 12 and a mirror 14 shown in FIG. 1 to focus the pulsed light IL from the rectangular opening of the reticle blind on an illuminated area AI of a slit or rectangular shape on the reticle R.

[0013] The reticle R is held by vacuum suction (otherwise, by electrostatic suction or mechanical-fastening) on a reticle stage 16 capable of moving with a large stroke in a one-dimensional direction at a constant speed during scanning exposure. In FIG. 1, the reticle stage 16 is guided to move from side to side (in the Y direction in FIG. 1) on a column structure 19 of the apparatus body, while it is also guided to move in a direction (X direction) perpendicular to the paper surface of FIG. 1. The coordinate position and minute amount of rotation of the reticle stage 16 on the XY plane are measured sequentially by a laser interferometer system 17 projecting a laser beam to a moving mirror (plane mirror or corner mirror) MRr attached to a portion of the reticle stage 16 and receiving

a reflected beam from the moving mirror MRr. Then, a reticle stage controller 20 controls a motor 18, such as a linear motor or voice coil motor, for driving the reticle stage 16 based on the XY coordinate position measured by the interferometer system 17 to control the movement of the reticle stage 16 in both the scanning and non-scanning directions.

[0014] When part of the circuit pattern area on the reticle R is illuminated by the rectangular-shaped pulsed illumination light IL projected through the condenser lens system 12 and the mirror 14, an imaging beam from the pattern in the illuminated area AI is projected and focused on a photosensitive resist layer coated on the surface of the wafer W through the reduction projection lens system PL with a reduction ratio of $1/4$. The projection lens system PL is so arranged that its optical axis AX passes through the central points of the circular image fields and is concentric with the optical axes of the illumination system 10 and the condenser lens system 12, respectively. The projection lens system PL consists of a plurality of lens elements made of two types of glass materials, quartz and fluorite, having high transmittance with respect to ultraviolet light having a wavelength of 193 nm. Fluorite is used primarily to form lens elements having positive power. Further, the air in a lens barrel in which the plurality of lens elements of the projection lens system PL are retained is replaced with nitrogen gas to avoid the absorption by

oxygen of the pulsed illumination light having the wavelength of 193nm. The nitrogen-gas replacement is also provided for the optical path from the inside of the illumination system 10 up to the condenser lens system 12 (or the mirror 14) in the same manner.

[0015] The wafer W is held on a holder table WH that draws the back side of the wafer W by suction. A wall LB is provided at a constant height around the entire perimeter of the holder table WH, and the liquid LQ is filled inside the wall LB up to a predetermined depth. The wafer W is held by vacuum suction in a depressed portion on the inner bottom of the holder table WH. Further, an annular auxiliary plate HRS is provided around the inner bottom of the holder table WH to surround the perimeter of the wafer W with a predetermined clearance width. The height of the surface of the auxiliary plate HRS is defined to be approximately equal to the height of the surface of a standard type of wafer W drawn by suction on the holder table WH.

[0016] The auxiliary plate HRS is primarily used as an alternative focus detection surface when the detection point of a focus-leveling sensor is located on the outside of the outer edge of the wafer W. The auxiliary plate HRS can also be used for calibration of an alignment sensor used for relative alignment between a shot area on the wafer W and the circuit pattern on the reticle R, and for calibration of the focus-leveling sensor used when the shot

area is scanned and exposed. However, it is preferable to use a dedicated fiducial mark plate provided separately from the auxiliary plate HRS. In this case, the fiducial mark plate is also mounted on the holder table WH in an immersed state to have substantially the same height as the image projection surface of the projection lens system PL, so that the alignment sensor detects various fiducial marks formed on the fiducial mark plate in the immersed state. An example of methods for calibration of system offsets of the focus sensor using the fiducial mark plate on the table is disclosed, for example, in US Patent No. 4,650,983, and an example of calibration methods for various alignment sensors is disclosed, for example, in US Patent No. 5,243,195.

[0017] In the embodiment, as shown in FIG. 1, since the tip end of the projection lens system PL is immersed in the liquid LQ, the projection lens system PL is designed to render at least its tip end waterproof in order to prevent the liquid from leaking into the lens barrel. The lower face (opposite face to the wafer W) of the front lens element of the projection lens system PL is machined in the shape of a flat surface or a convex surface having an extremely large curvature radius so that the liquid can flow smoothly between the lower face of the lens element and the surface of the wafer W during scanning exposure. Further, in the embodiment, the projection lens system PL is designed, as will be described in detail later, to form

its best imaging plane (reticle conjugate plane) in the immersed state at a position about 2-1 mm from the lower face of the front lens element. Therefore, the thickness of the liquid layer formed between the lower face of the front lens element and the surface of the wafer W is also about 2-1 mm, so that not only can the accuracy of temperature control to adjust the temperature of the liquid LQ be relaxed, but an uneven temperature distribution in the liquid layer can also be prevented.

[0018] The holder table WH is mounted on an XY stage 34 in such a manner to enable translational movements (including rough and fine movements in the embodiment) in the Z direction along the optical axis AX of the projection lens PL and fine tilt movements with respect to the XY plane perpendicular to the optical axis AX. The XY stage 34 moves two-dimensionally in the X and Y directions on a base 30. The holder table WH is mounted on the XY stage 34 through three Z-actuators 32A, 32B, and 32C. Each of the actuators 32A-C is a mechanism consisting, for example, of a combination of a piezoelastic element, a voice coil motor, a DC motor, and a lift cam. When the three Z-actuators are driven in the Z direction by the same amount, the holder table WH can be translated in parallel in the Z direction (focus direction), while when the three Z-actuators is driven in the Z direction by amounts different from one another, the tilt direction and amount of the holder table WH can be adjusted.

[0019] The two-dimensional movement of the XY stage 34 is caused by a drive motor 36, such as a DC motor for rotating a feed screw or a linear motor for generating thrust in a non-contact manner. The drive motor 36 is controlled by a wafer stage controller 35 receiving measured coordinate positions from a laser interferometer 33 for measuring each of X- and Y-positional changes of the reflection surface of a moving mirror MRw fixed to an edge portion of the holder table WH. The overall structure of the XY stage 34 using a linear motor as the drive motor 36 is disclosed, for example, in Japanese Patent Laid-Open No. 8-233964.

[0020] In the embodiment, since the working distance of the projection lens PL is so small that the liquid LQ will be filled in a narrow space of about 2-1 mm between the front lens element of the projection lens PL and the wafer W, it is difficult for an obliquely-incident type focus sensor to project a projection beam of light obliquely from above onto the wafer surface corresponding to the projection field of the projection lens system PL. Therefore, in the embodiment, a focus alignment sensor FAD, including an off-axis type focus leveling detection system (having no focus detection point within the projection field of the projection lens system PL) and a mark detection system for detecting alignment marks on the wafer W in an off-axis manner, is arranged as shown in FIG. 1 around the lower end part of the lens barrel of the projection lens system PL.

[0021] The lower face of an optical element (lens, glass

plate, prism, etc.) attached to the tip of the focus alignment sensor FAD is placed in the liquid LQ, and an alignment illumination beam and a focus detection beam are emitted from the optical element to illuminate the surface of the wafer W (or the auxiliary plate HRS) through the liquid LQ. The focus leveling detection system outputs a focus signal Sf corresponding to an error in the position of the surface of the wafer W relative to the best imaging plane. The mark detection system analyzes a photoelectric signal corresponding to the optical characteristics of each mark on the wafer W to output an alignment signal Sa representing the XY position of the mark or the amount of displacement from the position.

[0022] The focus signal Sf and the alignment signal Sa are sent to a main controller 40. Based on the focus signal Sf, the main controller 40 sends the wafer stage controller 35 driving information best suited to each of the three Z-actuators 32A, B, C. The wafer stage controller 35 controls each of the three Z-actuators 32A, B, C to make focus and tilt adjustments to an actually projected area on the wafer W.

[0023] The main controller 40 also manages the coordinate position of the XY stage 34 based on the alignment signal Sa to align the relative position of the reticle R and the wafer W. Further, when each shot area on the wafer W is scanned and exposed, the main controller 40 performs synchronous control of the reticle stage controller 20 and

wafer stage controller 35 so that the reticle R and the wafer W will move in the Y direction at a constant speed with a speed ratio corresponding to the projection magnification of the projection lens system PL.

[0024] Note that, although the focus alignment sensor FAD is provided in FIG. 1 in one location around the tip end of the projection lens system PL, it is preferable that four focus alignment sensors FAD be provided, two in the Y direction and two in the X direction, across the tip end of the projection lens system PL. In addition, a TTR (Through-The-Reticle) type alignment sensor 45 is provided above the reticle R in FIG. 1 to detect alignment marks formed at the periphery of the reticle R and alignment marks on the wafer W (or fiducial marks on the fiducial mark plate) simultaneously through the projection lens system PL and hence to measure the displacement between the reticle R and the wafer W with a high degree of precision. A measured displacement signal is then sent from the TTR alignment sensor 45 to the main controller 40 for use in positioning the reticle stage 16 and the XY stage 34.

[0025] The exposure apparatus in FIG. 1 performs scanning exposure while moving the XY stage 34 in the Y direction at a constant speed. The following describes the schedule of scan and step movements of the reticle R and the wafer W during the scanning exposure with reference to FIG. 2. In FIG. 2, a front lens group system LGa and a rear lens group system LGb are representative of the projection lens system

PL in FIG. 1, and a projection pupil Ep of the projection lens system PL exists between the front lens group system LGa and the rear lens group system LGb. On the reticle R shown in FIG. 2, a circuit pattern area Pa having a diagonal length longer than the diameter of the circular image field on the object side of the projection lens system PL is formed on the inside of a light-shielding zone SB.

[0026] The area Pa on the reticle R is scanned and exposed to a corresponding shot area SAa on the wafer W by scan-moving the reticle R, for example, in a negative direction along the Y axis at a constant speed Vr while scan-moving the wafer W in a positive direction along the Y axis at a constant speed Vw. In this case, as shown in FIG. 2, the area AI of the pulsed illumination light IL illuminating the reticle R is formed in the shape of a slit or rectangle elongated in parallel with the X direction in the area Pa, with both ends in the X direction located on the light-shielding zone SB.

[0027] A part of the pattern included in the pulsed light illuminated area AI inside the area Pa on the reticle R is formed as an image SI in a corresponding position inside the shot area SAa on the wafer W through the projection lens system PL (the lens systems LGa, LGb). After completion of relative scanning of the pattern area Pa on the reticle R and the shot area SAa on the wafer W, the wafer W is step-moved by a given amount in the Y direction

so that it will come to a scanning start position, for example, to a shot area SAb next to the shot area SAa. During this step-movement, the emission of the pulsed illumination light IL is interrupted. Then, the reticle R is moved in the positive direction along the Y axis with respect to the pulsed light illuminated area AI at the constant speed Vr so that the pattern image in the area Pa on the reticle R will be scanned and exposed to the corresponding shot area SAb on the wafer W while moving the wafer W in the negative direction along the Y axis with respect to the projected image SI at the constant speed Vw, thereby forming an electronic circuit pattern image on the shot area SAb. An example of techniques using pulsed light from an excimer-laser light source for scanning exposure is disclosed, for example, in US Patent No. 4,924,257.

[0028] In the projection exposure apparatus shown in FIGS. 1 and 2, when the diagonal length of the circuit pattern area on the reticle R is smaller than the diameter of the circular image field of the projection lens system PL, the opening shape or size of the reticle blind in the illumination system 10 can be so changed that the shape of the illuminated area AI will coincide with that of the circuit pattern area, enabling the use of the apparatus of FIG. 1 as a step-and-repeat stepper. In this case, the reticle stage 16 and the XY stage 34 stay still relative to each other during exposure of the shot area on the wafer W. However, if the wafer W moves slightly during the exposure,

the slight movement can be measured by the laser interferometer system 33. The reticle stage 16 is controlled and moved slightly in order to perform a tracking correction on the reticle R side so that the slight displacement of the wafer W with respect to the projection lens system PL is compensated. Further, when the shape or size of the reticle blind is changed, a zoom lens system may be so provided that the pulsed light coming from the light source and reaching the reticle blind will converge on a region corresponding to the adjusted opening size in response to the change in the shape or size of the reticle blind.

[0029] As apparent from FIG. 2, since the area of the projected image SI is assumed to have a slit or rectangular shape elongated in the X direction, the embodiment is configured to make the tilt adjustment during scanning exposure exclusively in a rotational direction around the Y axis, that is, only the rolling direction with respect to the direction of scanning exposure. Of course, if the width of the area of the projected image SI in the scanning direction is large enough to require consideration of the flatness of the wafer surface in the scanning direction, the tilt adjustment will be made in a rotational direction around the X axis, that is, the pitching direction, during scanning exposure.

[0030] The state of the liquid LQ in the holder table WH that is a characteristic feature of the exposure apparatus

according to the embodiment will be described below with reference to FIG. 3. FIG. 3 is a partially sectional view from the tip end of the projection lens system PL to the holder table WH. A positive lens element LE1 whose lower face Pe is flat and upper face is convex is fixed at the tip of the projection lens system PL inside the lens barrel. The lower face Pe of the lens element LE1 is so finished that the lower face Pe will be flush with the end face of the tip end of the metallic part of the lens barrel (flush surface finishing), preventing the flow of the liquid LQ from becoming turbulent. An outer corner portion 114, which is a portion to be immersed in the liquid LQ at the tip end of the lens barrel of the projection lens system PL, is chamfered, for example, to have a large curvature as shown in FIG. 3, in order reduce resistance against the flow of the liquid LQ and hence to prevent the generation of an unnecessary vortex or turbulent flow. Further, a plurality of protruding suction faces 113 are formed in a central portion of the inner bottom of the holder table WH to draw the back face of the wafer W by vacuum suction. Specifically, these suction faces 113 assume the shape of an annular zone consisting of a plurality of annular land portions having about 1 mm in height and concentrically formed with a predetermined pitch in the direction of the radius of the wafer W. Then, a groove is cut at the center of each of the annular land portions, and each of the grooves is connected to piping 112 inside the table WH, and

to a vacuum source for vacuum suction.

[0031] In the embodiment, as shown in FIG. 3, the spacing or distance L between the lower face Pe of the lens element $LE1$ at the tip end of the projection lens system PL and the surface of the wafer W (or the auxiliary plate HRS) is set in the range of about 2-1 mm for the best focus state.

Therefore, the depth Hq of the liquid LQ to be filled in the holder table WH can be just two, three, or more times the distance L , and hence the height of the wall LB provided around the holder table WH can be just several to ten mm. Thus, in the embodiment, since the distance L as the working distance of the projection lens system PL is set very small, the total amount of liquid LQ to be filled in the holder table WH can be reduced, thereby making temperature control easy.

[0032] In the embodiment, pure water easy to obtain and handle is used for the liquid LQ . However, note that a slight percentage of aliphatic additive (liquid), which does not dissolve the resist layer of the wafer W and the influence of which on the optical coating of the lower face Pe of the lens element can be ignored, is added to the pure water to not only reduce the surface tension of the pure water but to enhance the interface activity of the pure water. Methyl alcohol or the like having a refractive index approximately equal to that of the pure water is preferably used as the additive. In such a case, even if the methyl alcohol component in the pure water evaporates to vary its

concentration, the total change in the refractive index of the liquid LQ can be minimized.

[0033] The temperature of the liquid LQ is controlled for a target temperature with a constant degree of accuracy. The accuracy of controlling temperature in a relatively easy manner at present is about $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$. Based on such temperature-control accuracy, the following considers a realistic immersion projection method. In general, the temperature coefficient N_a of the refractive index of air is about $-9 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$, while the temperature coefficient N_q of the refractive index of water is about $-8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. In other words, the temperature coefficient N_q of the refractive index of water is about two orders of magnitude larger than that of air. On the other hand, if the working distance is L , the amount of imaging wavefront aberration ΔF caused by the amount of temperature change (temperature unevenness) ΔT in the medium filled in the working distance L is approximately represented as follows:

$$\Delta F = L \cdot |N| \cdot \Delta T$$

[0034] Here, if normal projection exposure is carried out without the application of an immersion projection method, the amount of wavefront aberration ΔF_{air} under such conditions that the working distance L is 10mm and the amount of temperature change ΔT is 0.01°C is as follows:

$$\Delta F_{\text{air}} = L \cdot |N_a| \cdot \Delta T \approx 0.09 \text{ nm}$$

On the other hand, the amount of wavefront aberration ΔF_{LQ} in the case of applying the immersion projection method is

as follows:

$$\Delta F_{1q} = L \cdot |N_q| \cdot \Delta T \approx 8 \text{ nm}$$

[0035] In general, it is desirable that the amount of wavefront aberration be about 1/30 through 1/50-1/100 of the wavelength λ used. Therefore, in the case of using the ArF excimer laser, the maximum allowable amount of wavefront aberration ΔF_{\max} is defined in the range of 6.43 through 3.86-1.93 nm corresponding to 1/30 through 1/50-1/100 of the wavelength λ generally used, and preferably 1.93 nm or below at 1/100 of the wavelength λ . The heat conductivities of air and water at 0°C are 0.0241 W/mK and 0.561 W/mK, respectively. In other words, water is better heat conductor than air, so that the temperature unevenness in the optical path formed in the water can be reduced compared to that in the air, thereby reducing the fluctuation in the refractive index in the liquid. However, as shown in the expression (3), if the working distance L is about 10 mm, the amount of wavefront aberration ΔF_{1q} generated is far beyond the allowable amount of wavefront aberration ΔF_{\max} even if the amount of temperature change ΔT is 0.01°C.

[0036] It follows from the above consideration that the relationship between the amount of temperature change ΔT after taking into account the amount of allowable wavefront aberration ΔF_{\max} and the working distance L is from $\Delta F_{\max} = \lambda/30 \geq L \cdot |N_q| \cdot \Delta T$ to $\Delta F_{\max} = \lambda/100 \geq L \cdot |N_q| \cdot \Delta T$. Assuming that the amount of temperature change ΔT is 0.01°C, the

wavelength λ is 193nm, and the amount of change N_d in the refractive index of the liquid LQ is $-8 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$, the required working distance (thickness of the liquid layer) L is from 8 mm to 2.4 mm or less. It is desirable that the working distance L be smaller than 2 mm as long as the liquid LQ flows smoothly in the working distance L. Since the embodiment is configured as mentioned above, not only can the temperature control of the liquid LQ be made easy, but the degradation of the projected image induced by a change in wavefront aberration due to a temperature change in the liquid layer can also be prevented, making possible projection exposure of a pattern on the reticle R with an extremely high resolution.

[0037]

[Description of Second Embodiment] Referring next to FIG. 4, a second embodiment of the present invention will be described. This embodiment shows a temperature control method for the liquid LQ, which is also applicable to the first embodiment, and a method of dealing with the liquid LQ at the time of changing the wafer W. Therefore, components in FIG. 4 common to those in FIGS. 1 and 3 are given the same reference numerals and symbols. In FIG. 4, a plurality of suction faces 113 are formed in a wafer loading portion as a circular depressed portion on the inner bottom of the holder table WH. Then an annular groove 51 used for supply and discharge of the liquid LQ is formed around the circular wafer loading portion. Part of the

groove 51 communicates with an external pipe 53 through a passage 52 formed inside the table WH. Further, thermoregulators 50A, 50B such as Peltier elements are embedded directly below the wafer loading portion and the auxiliary plate HRS inside the holder table WH, and temperature sensors are placed in position (preferably at plural positions) on the holder table WH to detect the temperature of the liquid LQ precisely. The thermoregulators 50A, 50B are controlled by a controller 60 in such a manner that the temperature of the liquid LQ detected by the temperature sensors 55 will be kept at a constant value.

[0038] On the other hand, the pipe 53 is connected to a liquid supply unit 64 and a drainage pump 66 through a selector valve 62. The selector valve 62 switches over between a flow path for supplying the liquid LQ from the liquid supply unit 64 to the pipe 53 and a flow path for returning the liquid LQ from the pipe 53 to the supply unit 64 through the drainage pump 66 in response to an instruction from the controller 60. Inside the supply unit 64, a reserve tank (not shown) capable of reserving the total amount of liquid LQ on the holder table WH, a pump 64A for supplying the liquid LQ from the tank, and a temperature controller 64B for keeping the liquid LQ in the tank including the pump 64A at a constant temperature are provided. In the above-mentioned structure, the operation of the valve 62, the pump 64A, the temperature controller

64B, and the drainage pump 66 are centrally controlled by the controller 60.

[0039] In such a structure, when the wafer W is carried to the wafer loading portion of the holder table WH and loaded on the plural suction faces 113 in a pre-aligned state, the wafer is fixed under a reduced pressure through the vacuum suction piping 112 shown in FIG. 3. During this operation, the thermoregulators 50A, 50B continue to be controlled at a target temperature. Then, upon completion of vacuum suction of the wafer W, the selector valve 62 is moved from a closed position to the supply unit 64 side to actuate the pump 64A to fill the temperature-controlled liquid LQ to the inside of the wall LB of the holder table WH by a given amount through the pipe 53, the passage 52, and the groove 51. After that, the selector valve 62 returns to the closed position. Once the exposure of the wafer W is completed, the selector valve 62 is moved from the closed position to the drainage pump 66 side to actuate the drainage pump 66 to return the liquid LQ on the table WH to the reserve tank in the supply unit 64 through the groove 51 and the pipe 53. The temperature of the liquid LQ returned to the tank is controlled precisely by the temperature controller 64B based on a detection signal from a temperature sensor provided in the reserve tank until the next wafer is ready.

[0040] Thus, according to the embodiment, the temperature of the liquid LQ during immersion exposure is controlled by the thermoregulators 50A, 50B in the holder table WH, while

the liquid LQ is recovered into the supply unit 64 during wafer change so that the temperature of the liquid LQ will be controlled in the supply unit 64. This structure has the advantages of making possible wafer change in air and preventing a big temperature change in the liquid LQ. Further, according to the embodiment, even if the temperature of the liquid LQ filled in the holder table WH after wafer change is deviated slightly (e.g., about 0.5°C) from a set temperature, it can reach the set temperature in a relatively short time because the depth of the liquid layer H_q (see FIG. 3) is shallow on the whole, thereby also making it possible to reduce the waiting time until the temperature is stabilized.

[0041]

[Description of Third Embodiment] Referring next to FIG. 5, a third embodiment will be described. FIG. 5 shows a partial cross section of a holder table WH improved from that of FIG. 3. The holder table WH in this embodiment is divided into two parts, namely a wafer chuck 90 for holding the wafer W and a ZL stage 82 moving in the Z direction for focus leveling and performing tilt movement, in which wafer chuck 90 is placed on the ZL stage 82. The ZL stage 82 is provided on the XY stage 34 through three z actuators 32A, 32C (32B not shown). Like in FIGS. 1, 3, and 4, the wall LB, the auxiliary plate HRS, the piping 112 for vacuum suction, and passages 53A, 53B communicating with the pipe 53 for supply and discharge of the liquid LQ (see FIG. 4) are

formed in the chuck 90, respectively. Note here that the passage 53A communicates with the peripheral part of the auxiliary plate HRS inside the wafer chuck 90, while the passage 53B communicates with the downmost part of the wafer loading portion on the inner bottom of the wafer chuck 90. Thus, since the passages for discharging and filling the liquid are formed at two or more positions, it can be quick to take in or out the liquid.

[0042] Further, in the embodiment, three through-holes (only two of them shown) 91 are formed in the central portion of the chuck 90, and three center-up pins (only two of them shown) 83 moving up and down through the through-holes 91, respectively, are provided on a vertically movement driving mechanism 85. The vertically movement driving mechanism 85 is fixed on the side of the XY stage 34. The three center-up pins 83 are to lift up or down the wafer W on the chuck 90 by a given amount from or onto the loading surface during wafer change. When the wafer W is held on the loading surface of the chuck 90 by vacuum suction as shown in FIG. 5, the tip end of each of the center-up pins 83 is located in a position lower than the loading surface of the chuck 90.

[0043] On the other hand, a parallel flat plate CG made of silica glass and fixed perpendicularly to the optical axis AX is attached to the tip end of a sub lens-barrel 80 provided in the tip end of the projection lens system PL used in the embodiment so that the front lens element LE1

(plano-convex lens) will not be immersed in the liquid LQ. In the embodiment, the spacing or distance between the lower face of the parallel flat plate CG and the surface of the wafer W becomes a nominal working distance and is set to 2 mm or less like in the aforementioned embodiments. The attaching surface of the parallel flat plate CG to the sub lens-barrel 80 is waterproofed and nitrogen gas is filled in the sub lens-barrel 80.

[0044] Thus, since the parallel flat plate CG is provided at the tip end of the projection lens system PL, even if the substantial backfocus distance (distance from the front optical element having refractive power to the imaging plane) of the projection lens system PL is about 10 to 15 mm, the working distance L can easily be set to about 1 to 2 mm, enabling the implementation of an immersion projection method with reduced influence of temperature changes in the liquid. Further, the parallel flat plate CG can be retrofitted, part of the surface of the parallel flat plate CG can be polished on the order of a fraction of the wavelength, thus making it easy to correct local slight distortion (or random distortion) in the projected image. In other words, the parallel flat plate CG has both a function as a window to protect the front lens element located at the tip end of the projection lens system PL and a function as a distortion correcting plate. From another point of view, it can be said that the image forming performance of the projection lens system PL including the

parallel flat plate CG is certified, that is, the parallel flat plate CG is consistently a front lens element located at the tip end of the projection lens system PL.

[0045]

[Description of Fourth Embodiment] Referring next to FIG. 6, a fourth embodiment will be described. This embodiment is related to the embodiment shown in FIG. 5 regarding wafer change when the projection optical system having an extremely small working distance is used for an immersion type projection exposure method. In FIG. 6, a reference mirror ML (for X and Y directions) receiving and reflecting a reference beam BSr from the laser interferometer 33 shown in FIG. 1 is fixed in the lower end portion of the lens barrel of the projection lens system PL. In operation, a length measuring beam BSm from the laser interferometer 33 is projected to a moving mirror MRw fixed to an edge portion of the ZL stage 82 as shown in FIG. 5, and the reflected beam is returned to the laser interferometer 33 so that it will interfere with the reflected beam of the reference beam BSr, thereby measuring the coordinate position of the reflection surface of the moving mirror MRw, that is, the XY coordinate position of the wafer W with reference to the position of the reference mirror ML. In the embodiment, the ZL stage 82 is also mounted on the XY stage 34 through the three Z actuators 32A, 32B (32C not shown) in such a manner that it can move in the Z direction and the tilt direction. Note here that the ZL stage 82 is

coupled to the XY stage 34 through leaf springs 84A, 84B (84C not shown) provided at three positions around its perimeter so that it will be supported with extremely high rigidity in the horizontal direction (on the XY plane) with respect to the XY stage 34.

[0046] In the embodiment, the wafer chuck 90 like in FIG. 5 is also provided on the ZL stage 82. A point different from FIG. 5 is that the wafer chuck 90 is configured to move in the Z direction relative to the ZL stage 82 with a relatively large stroke (about 10 to 15 mm) by means of a plurality of Z-direction driving mechanisms 88A, 88B. Unlike the Z actuators 32A, B, C for focus leveling, the driving mechanisms 88A, 88B have only to move the wafer chuck 90 between both ends of the stroke. Therefore, they can be configured to have a simple elevation function using an air cylinder or link mechanism. Further, in the embodiment of FIG. 6, the center-up pins 83 shown in FIG. 5 are fixed on the XY stage 34 without up and down movement. Then, as shown in FIG. 6, when the wafer chuck 90 is lifted to its upmost position, the surface of the wafer W is located 1 to 2 mm from the surface of the front optical element of the projection lens system PL and the end face of each of the center-up pins 83 is slightly (about 2 to 3 mm) lower than the wafer loading face of the wafer chuck 90.

[0047] FIG. 6 shows the above-mentioned structure in a state during exposure of the wafer W. After completion of the exposure operation, the liquid LQ is temporarily

discharged from the wafer chuck 90 in the manner as shown in FIG. 4. Then, once the vacuum suction of the wafer chuck 90 is released, the driving mechanisms 88A, 88B are actuated to lift down the wafer chuck 90 from the position in FIG. 6 to its downmost position. This causes the wafer W to be reloaded on the tip end faces of the three center-up pins 83 while positioning the upper end face of the wall LB around the wafer chuck 90 to be lower than the front end surface of the projection lens system PL (the lower face Pe of the lens element LE1 in FIG. 3 or the lower face of the parallel flat plate CG in FIG. 5). In this state, if the XY stage 34 is moved to a wafer change position, the wafer W is drawn out from the position directly below the projection lens system PL and moved toward a transport arm 95. At this time, since the arm 95 is set to be higher than the upper end face of the wall LB of the wafer chuck 90 and lower than the wafer W on the center-up pins 83, it gets into the downside of the wafer W. Then, the arm 90 transports the wafer W toward a predetermined unload position while lifting the wafer W slightly up under vacuum suction. The way of carrying in the wafer W is exactly opposite to the above-mentioned sequence.

[0048] As shown in FIG. 6, when the structure is of the type in which the laser interferometer 33 projects the reference beam BSr to the reference mirror ML for the projection lens system PL, since a pool of liquid LQ spreads out over the space directly below the optical path

of the reference beam BSr, it is considered that a rise of saturated vapor could cause fluctuation in the optical path of the reference beam BSr. Therefore, in the embodiment, a cover plate 87 is arranged between the optical path of the reference beam BSr and the liquid LQ to block the flow of the rising vapor in order to prevent the fluctuation in the optical path of the reference beam BSr.

[0049] In order to more stabilize the optical path of the reference beam BSr, temperature-controlled clean air may be sent in a direction intersecting the optical path over the cover plate 87. In this case, the cover plate 87 also has a function for preventing a direct air blow for air-conditioning of the optical path to the liquid LQ, thus reducing unnecessary evaporation of the liquid LQ. Alternatively, the entire optical path of the reference beam BSr may be covered with a wind-shielding cylinder instead of such a simple cover plate 87.

[0050]

[Description of Fifth Embodiment] Referring next to FIGS. 7(A) and (B), a fifth embodiment will be described. This embodiment shows a combination of the structure of the holder table WH shown in FIG. 1 with a center-up mechanism (pins 83 and z-driving mechanism 85) shown in FIG. 5, that is, it shows an improved structure of the holder table WH for easy wafer change. FIG. 7(B) is a plan view of the improved holder table WH and FIG. 7(A) is a sectional view taken along the line 7A in FIG. 7(B). It is apparent from

FIGS. 7(A), (B) that the holder table WH is held on the XY stage 34 through three Z actuators 32A, 32C (32B not shown), and three through-holes 91 are provided in the central portion of the holder table WH. Center-up pins 83 moving up and down by means of a driving part 85 penetrate through the through-holes 91, respectively.

[0051] As described above, the height of the downmost end face of the projection lens system PL is just about 2 mm from the surface of the auxiliary plate HRS (wafer W) in its original state. In addition, the upper end of the wall LB provided around the holder table WH is higher than the downmost end face of the projection lens system PL.

Therefore, if the XY stage 34 is moved for wafer change to draw out the wafer from the position directly below the projection lens system PL, the width of part of the auxiliary plate HRS will have to be about as large as the diameter of the lens barrel of the projection lens system PL, resulting in an increase in the volume of the holder table WH in which the liquid LQ is filled.

[0052] Therefore, in the embodiment, part of the wall LB of the holder table WH is cut or notched to provide a liquid sealing door DB to freely open or close in the notch portion. The liquid sealing door DB is closed to close the notch portion of the wall LB to seal the liquid while the liquid LQ is being filled as shown in FIGS. 7(A), (B). On the other hand, it is open as indicated by the broken line in FIG. 7(A) while the liquid LQ is being discharged from

the holder table WH. The liquid sealing door DB is configured to be slightly higher than the surface of the auxiliary plate HRS when it is in the open state. Further, an O ring OL is provided in position on the wall side (including the notch portion of the wall LB) corresponding to the body side of the holder table WH that encounters the inner wall of the liquid sealing door DB to ensure sealing performance as shown in FIG. 7(B).

[0053] In such a structure, when the wafer on the holder table WH is changed for another, the liquid LQ is first discharged from the holder table WH before opening the liquid sealing door DB. Then, the XY stage 34 is moved to the right in FIG. 7 so that the wafer is drawn out from the position directly below the projection lens system PL. At this time, the projection lens system PL is located above the liquid sealing door DB that has just been opened. Then, the center-up pins 83 are raised to lift up the wafer to a position higher than the wall LB, thus making it easy to replace the wafer.

[0054] According to the embodiment, the diameter of the wall LB surrounding the perimeter of the holder table WH can be minimized to minimize the total amount of liquid LQ to be filled in the holder table WH. This structure has the advantages of making it easy to manage the temperature of the liquid LQ and minimizing the filling and discharging time of the liquid LQ. In the structure of the fourth embodiment, the liquid sealing door does not need providing

because the wafer chuck is lifted down, but such a liquid sealing door may also be provided in the fourth embodiment.

[0055]

[Description of Sixth Embodiment] Next, FIG. 8 shows a sixth embodiment of the present invention. In the embodiment, a lower case 7 and an upper case 8 are used. A wafer holder 3a for loading a wafer 3 is formed on the inner bottom of the lower case 7. The upper face of the lower case 7 is hermetically closed by the bottom surface of the upper case 8, and the total volume of the lower case 7 is fully filled with an immersion liquid 7a. The upper case 8 is also filled with an immersion liquid 8a so that the last or front lens surface 1a of a projection optical system 1 will be immersed in an immersion liquid 8a.

[0056] Part of the immersion liquid 7a in the lower case 7 is guided to a thermoregulator 6 from an outlet 5 provided on one side of the lower case 7 so that the thermoregulator 6 will regulate the temperature of the immersion liquid 7a. The temperature-regulated immersion liquid 7a is then given back to the lower case 7 from an inlet 4 provided on the other side of the lower case 7, thus circulating the immersion liquid 7a. A plurality of temperature sensors (not shown) are placed at plural positions in the lower case 7 so that the thermoregulator 6 will control the temperature of the immersion liquid 7a in the lower case 7 to be kept constant based on the output of the temperature sensors. The same temperature control mechanism is also

provided for the immersion liquid 8a in the upper case 8.

[0057] In the embodiment, the lower case 7 and the upper case 8 are integrally moved to move the wafer 3. On the other hand, since the immersion liquid in the lower case in which the wafer 3 is housed is substantially closed, this structure are advantageous not only because of its temperature stability but also because it can prevent the occurrence of a pressure distribution due to an unnecessary flow such as a vortex in the immersion liquid. In other words, a pressure distribution in the immersion liquid causes a fluctuation in refractive index and hence the deterioration of the imaging wavefront aberration. However, in the sixth embodiment, since only the pressure distribution in the immersion liquid 8a filled in the upper case 8 causes a problem, the optical path in this section L_8 can be formed short enough to mitigate the influence of the flow of the immersion liquid during wafer movement to such a level not to cause any practical problem.

[0058] In the embodiment, the lower case 7 and the upper case 8 are integrally moved, but only the lower case 7 can be moved while fixing the upper case 8. In such a structure, the immersion liquid 8a in the upper case 8 completely stops its flow. Therefore, it is preferable that the working distance L be so set that the thickness L_7 of the immersion liquid 7a in the lower case 7 will be sufficiently thinner than the thickness L_8 of the immersion liquid 8a in the upper case 8.

[0059]

[Description of Alternative Embodiments] Although the embodiments of present invention are described above, since the working distance of the projection lens system during immersion exposure is extremely small, about 1-2 mm, as shown in FIG. 1, the off-axis type focus alignment sensor FAD is used for focusing on the wafer W. Alternatively, a TTL (Through-The-Lens) type focus detection mechanism as disclosed, for example, in US Patent No. 4,801,977 or 4,383,757, may be provided, which projects a focus detection beam onto the wafer through a peripheral part within the projection field of the projection lens system PL to measure the height or tilt of the wafer surface.

[0060] Further, although the focus alignment sensor FAD shown in FIG. 1 is of an off-axis type that optically detects the alignment marks on the wafer W, this alignment sensor may be of the TTL type that detects the marks on the wafer W through only the projection lens system PL and provided in addition to the TTR alignment sensor 45 in FIG. 1 for detecting the marks on the wafer W through both the reticle R and the projection lens system PL. Furthermore, if the present invention includes a projection optical system for projection exposure under the source of ultraviolet light (having a wavelength of 400 nm or less), it can be applied to any exposure apparatus in the same manner regardless of its structure.

[0061]

[Effects of the Invention] As described above, the present invention provides an immersion exposure apparatus that can ensure sufficient image forming performance in the range of practically feasible temperature control. The present invention also provides the structure of a wafer stage suitable for loading and unloading a wafer in the immersion exposure apparatus.

[Brief Description of the Drawings]

[FIG. 1] It is a diagram showing the overall structure of a scanning type projection exposure apparatus according to a first embodiment of the present invention.

[FIG. 2] It is a perspective view for schematically explaining a sequence of scanning exposure.

[FIG. 3] It is a partially sectional view showing a detailed configuration around a projection lens system in FIG. 1.

[FIG. 4] It is a block diagram schematically showing liquid temperature control and a liquid supply system according to a second embodiment of the present invention.

[FIG. 5] It is a partially sectional view showing a configuration around a wafer holder and a projection lens system according to a third embodiment of the present invention.

[FIG. 6] It is a partially sectional view showing a configuration around a wafer holder and a projection lens system according to a fourth embodiment of the present invention.

[FIG. 7] It includes a sectional view (A) and a plan view (B) showing the structure of a holder table according to a fifth embodiment of the present invention.

[FIG. 8] It is a schematically sectional view showing the main part of a sixth embodiment of the present invention.

[Description of Notations]

1 ... Projection Optical System	1a ... Last Lens Surface
7, 8 ... Case	7a, 8a ... Immersion Liquid
3 ... Wafer	3a ... Wafer Holder
4 ... Inlet	5 ... Outlet
6 ... Thermoregulator	L ... Working Distance
10 ... Illumination System	12 ... Condenser Lens System
14 ... Mirror	16 ... Reticle Stage
17 ... Laser Interferometer System	18 ... Motor
19 ... Column Structure	20 ... Reticle Stage Controller
30 ... Base	32A, 32B, 32C ... Actuator
33 ... Laser Interferometer System	34 ... XY Stage
35 ... Wafer Stage Controller	36 ... Drive Motor
40 ... Main Controller	50A, 50B ... Thermoregulator
51 ... Groove	52 ... Passage
53 ... Pipe	53A, 53B ... Passage
55 ... Temperature Sensor	60 ... Controller
62 ... Selector Valve	64 ... Liquid Supply Unit
64A ... Pump	64B ... Temperature Controller
66 ... Drainage Pump	80 ... Sub Lens-Barrel
82 ... ZL Stage	83 ... Center-Up Pin
84A, 84B ... Leaf Spring	85 ... Vertically Driving Mechanism

87 ... Cover Plate	88A, 88B ... Drive Mechanism
90 ... Wafer Chuck	91 ... Through-Hole
95 ... Arm	112 ... Piping
113 ... Suction Face	114 ... Outer Corner Portion
IL ... Pulsed Illumination Light	AI ... Illuminated Area
R ... Reticle	Pa ... Circuit Pattern Area
SB ... Light-Shielding Zone	PL ... Projection Lens System
AX ... Optical Axis	LGa ... Front Lens Group System
LGb ... Rear Lens Group System	Ep ... Projection Pupil
LE1 ... Positive Lens Element	Pe ... Lower Face
CG ... Parallel Flat Plate	W ... Wafer
SAa, SAb ... Shot Area	SI ... Projected Image
WH ... Holder Table	LB ... Wall
LQ ... Liquid	HRS ... Auxiliary Plate
DB ... Liquid Sealing Door	OL ... O Ring
FAD ... Focus Alignment Sensor	
MRr, MRw ... Moving Mirror	ML ... Reference Mirror
BSr ... Reference Beam	BSm ... Measuring Beam
Sf ... Focus Signal	Sa ... Alignment Signal